

**MEDICIÓN DEL CAMBIO DE POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA CICLO OTTO AL MODIFICAR EL ÁRBOL DE LEVAS BAJO EL  
PROCEDIMIENTO DE DESTALONADO**

**GIOVANNI ALEJANDRO MARIN SALGUERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar  
al título de Ingeniero Mecánico**

**Director: Juan Esteban Tibaquirá G.  
Ingeniero Mecánico, M.Sc., PhD.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA – RISARALDA  
2015**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Pereira, 02 de Marzo de 2015.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos aquellos que han tomado parte en este trabajo, especialmente al Ingeniero Juan Esteban Tibaquirá, quien con su paciencia y su conocimiento supo darle rumbo a este proyecto que hoy se culmina. También al Ingeniero Luis Guillermo Gaviria, quien no solo desde el primer momento aportó su valioso conocimiento y experiencia sobre el tema, sino también puso a disposición su empresa V.I.P. MOTORSPORT.

Al señor Jairo Antonio Angarita del taller MECÁNICA INDUSTRIAL J.A.C., quien fue gran colaborador en el proceso de mecanizado del árbol de levas, y a todas las personas adscritas al Laboratorio de Pruebas Dinámicas Automotrices (LPDA) de la Universidad Tecnológica de Pereira, quienes hicieron posible la realización de las pruebas de potencia al vehículo y el uso de los instrumentos necesarios para la realización de este proyecto.

Finalmente debo agradecer al Dios de la vida, a mis padres, familiares y amigos quienes me han apoyado incondicionalmente durante este largo camino.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	13
1. MARCO TEÓRICO.....	17
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	24
2.1 MEDICIÓN INICIAL DE POTENCIA.....	24
2.1.1 Montaje del vehículo en el dinamómetro .....	24
2.1.2 Alistamiento y verificación de las características del vehículo.....	26
2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ÁRBOL DE LEVAS ORIGINAL .....	28
2.2.1 Medición por medio de comparador de carátula .....	28
2.2.2 Medición por medio de la máquina de coordenadas .....	34
2.3 DISEÑO DE LA LEVA MODIFICADA.....	38
2.3.1 Simulación de potencia en software con árbol original.....	40
2.3.2 Determinación de alzada máxima permisible para válvulas .....	44
2.3.3 Modificación de valores en software .....	45
2.4 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE DESTALONADO .....	46
2.5 DESTALONADO DEL ÁRBOL DE LEVAS.....	54
2.5.1 Preparación de la máquina.....	54
2.5.2 Desbaste, pulido y limpieza del árbol .....	56
2.6 IMPLEMENTACIÓN DEL ARBOL DE LEVAS MODIFICADO .....	59
2.6.1 Retirar el árbol de levas original .....	59
2.6.2 Instalación del árbol de levas destalonado.....	61
2.7 MEDICIÓN FINAL DE POTENCIA .....	62
2.7.1 Montaje del vehículo en el dinamómetro .....	62
2.7.2 Alistamiento y verificación de las características del vehículo.....	63
3. RESULTADOS OBTENIDOS .....	64
3.1 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN INICIAL DE POTENCIA .....	64

3.2 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN FINAL DE POTENCIA.....	65
3.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	66
4. CONCLUSIONES.....	73
5. RECOMENDACIONES .....	75

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparativa de medición en LPDA y en máquina de coordenadas .....	38
Tabla 2. Tabla de valores modificados y simulados .....	46
Tabla 3. Resultados medición de potencia con árbol original .....	64
Tabla 4. Resultados con SAE J1349 de medición de potencia con árbol original .	65
Tabla 5. Resultados medición de potencia con árbol destalonado.....	65
Tabla 6. Resultados con SAE J1349 de medición de potencia con árbol destalonado.....	66
Tabla 7. Verificación de resultados para mediciones de potencia.....	67

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de posibles acciones para aumento de potencia .....	19
Figura 2. Levantamiento de una válvula cuando actúa solamente en 180° en una interpretación teórica del diagrama. ....	21
Figura 3. Área bajo la curva de leva teórica y leva real.....	21
Figura 4. Apertura de la válvula cuando ha sido anticipada 10° y retardada 30° . .	22
Figura 5. Montaje del vehículo en el cubo izquierdo del dinamómetro .....	25
Figura 6. Montaje del vehículo en el cubo derecho del dinamómetro .....	25
Figura 7. Pantalla correspondiente al software del dinamómetro en la cual se ingresan las especificaciones del vehículo.....	26
Figura 8. Medición de revoluciones del motor .....	27
Figura 9. Medición de revoluciones en el dinamómetro .....	27
Figura 10. Pieza de acople para comparador de carátula.....	29
Figura 11. Comparador de carátula acoplado al bloque del motor.....	29
Figura 12. Galgas de calibración.....	30
Figura 13. Calibración de válvulas usando galgas de calibración .....	31
Figura 14. Comparador de carátula midiendo alzada de válvula.....	31
Figura 15. Perfil de alzada de válvulas Sprint .....	32
Figura 16. Comparador de carátula midiendo alzada de leva .....	33
Figura 17. Perfil de alzada de levas para un vehículo Chevrolet Sprint original....	34
Figura 18. Máquina de coordenadas Brown & Sharpe.....	35

Figura 19. Medición del árbol de levas en la máquina de coordenadas.....	36
Figura 20. Pantalla de la máquina de coordenadas cuando esta se encontraba ubicada en el punto de referencia .....	36
Figura 21. Perfil de levas del árbol de levas nuevo .....	37
Figura 22. Diseño de un destalonado de leva .....	38
Figura 23. Pantalla inicial del software de simulación Dyno2003 .....	40
Figura 24. Pantalla del software cuando son ingresados los Datos del árbol de levas original .....	43
Figura 25. Curvas de simulación original .....	43
Figura 26. Determinación de alzada máxima permisible .....	44
Figura 27. Curvas de potencia y par torsor para árbol original.....	47
Figura 28. Curvas de potencia y par torsor para iteración 1 .....	48
Figura 29. Curvas de potencia y par torsor para iteración 2.....	49
Figura 30. Curvas de potencia y par torsor para iteración 3.....	49
Figura 31. Curvas de potencia y par torsor para iteración 4.....	50
Figura 32. Curvas de potencia y par torsor para iteración 5.....	51
Figura 33. Curvas de potencia y par torsor para árbol de referencia .....	52
Figura 34. Curvas de eficiencia volumétrica para cada caso .....	53
Figura 35. Taladro fresador vertical.....	55
Figura 36. Árbol de levas entre cabezal divisor y contrapunta .....	55
Figura 37. Marcación del punto de referencia para cada leva.....	56
Figura 38. Accidente en desbaste de leva .....	57
Figura 39. Reborde de material posterior al desbaste.....	57



Figura 40. Levas 1 y 2 lijadas.....	58
Figura 41. Pulimiento del árbol de levas terminado.....	58
Figura 42. Tapa válvulas y filtro retirados.....	59
Figura 43. Flauta de balancines retiradas .....	60
Figura 44. Árbol de levas original, balancines y resortes .....	60
Figura 45. Culata del motor sin árbol de levas .....	61
Figura 46. Calibración final de válvulas.....	62
Figura 47. Alistamiento del vehículo para la medición final de potencia .....	63
Figura 48. Gráfico de potencia máxima y régimen máximo de potencia .....	68
Figura 49. Gráfico de potencia máxima y régimen máximo de potencia con corrección SAE J1349.....	68
Figura 50. Gráfico de par máximo y régimen máximo de par.....	69
Figura 51. Gráfico de par máximo y régimen máximo de par con corrección SAE J1349 .....	69
Figura 52. Gráfico de potencia Vs. RPM sin correcciones .....	70
Figura 53. Gráfico de potencia Vs. RPM con SAE J1349 .....	71
Figura 54. Gráfico de par Vs. RPM sin correcciones.....	71
Figura 55. Gráfico de par Vs. RPM con SAE J1349.....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

1. **SOHC:** Single Overhead Cam.
2. **PME:** Presión media efectiva.
3. **PMS:** Punto muerto superior.
4. **PMI:** Punto muerto inferior.
5. **RPM:** Revoluciones por minuto
6. **LPDA:** Laboratorio de Pruebas Dinámicas Automotrices.
7. **UTP:** Universidad Tecnológica de Pereira.
8. **DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. Guía experimental para la medición del cambio de potencia de un motor de combustión interna ciclo Otto al modificar el árbol de levas bajo el procedimiento de destalonado.

## INTRODUCCIÓN

A finales de los años sesenta, los vehículos de serie, y más aún aquellos pertenecientes a alguna marca participante de los grandes campeonatos de automovilismo a nivel mundial, venían equipados con motores de tipo SOHC cuyos árboles presentaban un perfil de levas agudo o agresivo. Esta forma permitía sacar el máximo provecho de la potencia de estos motores, los cuales se diseñaban y construían motivados por el constante espíritu competitivo que se vivía entre los diferentes fabricantes por aquellos años.

Terminando la década de los años ochenta, cuando ya se empezaba a evidenciar el inicio de la que se podría llamar la crisis petrolera, los fabricantes se vieron obligados a cambiar sus parámetros de diseño buscando acercarse a un mercado que ya no demandaba potencia, sino mayores ahorros de combustible. Por esta razón cada casa motriz ha implementado de manera particular modificaciones a sus motores que permitan tener una mayor eficiencia en el rendimiento del combustible, y relegando a un segundo plano el aprovechamiento de las características y el potencial competitivo que pudiese tener un vehículo.

Se presenta entonces la necesidad de generar un aumento de la potencia en motores, bien sea para el uso competitivo que se da en las carreras o por gusto particular de los entusiastas que desean conducir vehículos de mejores prestaciones mecánicas. La alteración del árbol de levas permite obtener un aumento de potencia, para lo cual se debe elegir entre modificar el existente o adquirir un árbol de levas nuevo, diseñado y creado para tales fines por empresas certificadas. En países europeos principalmente, las tendencias del mercado permiten que existan empresas dedicadas al estudio y diseño de árboles de levas con mejores características, siendo así, la segunda opción la de mayor aceptación. Sin embargo, en nuestra región la situación es contraria a la del viejo continente, pues los recursos dirigidos al desarrollo automovilístico son mínimos, y es necesario tomar la opción inicial de modificar el árbol original.

En los motores de combustión interna, la importancia del árbol de levas radica en la integración sobre su eje de las levas encargadas de la apertura y posterior movimiento de cierre de las válvulas de admisión y escape. El motor de tipo SOHC utiliza un único árbol de levas para sincronizar tal función de apertura y cierre de válvulas simultáneamente en cada uno de los cilindros.

Así pues, la alteración del árbol de levas consiste en modificar el perfil de las levas para obtener un mayor llenado en la cámara de combustión y un flujo de gases más eficiente, tan solo con una mayor apertura de las válvulas de admisión y escape, y durante unos tiempos de apertura total y movimientos más prolongados. Esto no solo permite un completo llenado de la cámara de mezcla, sino también que los gases productos de la combustión, tengan una circulación más rápida hacia la salida de la cámara, dando aún más espacio al aire que en esta entra, sin necesidad de la instalación de un sistema de inducción forzada.

Lamentablemente la documentación alrededor del proceso de destalonado y todo lo que esto conlleva es bastante reducida. Las industrias fabricantes de árboles de levas son herméticas con las investigaciones realizadas, y se limitan tan solo a ofertar un aumento de potencia a cambio de un nuevo árbol de levas a precios demasiado elevados.

Las investigaciones y la documentación sobre el destalonado de un árbol de levas son de vital importancia, ya que con este procedimiento se debe tener especial cuidado, pues expone varios riesgos. En primer lugar, puede suceder que el tiempo de traslape entre las válvulas de admisión y escape, que es el tiempo en el cual ambas válvulas se encuentran abiertas simultáneamente, se aumente más de lo debido, y que el aire que entra por la válvula de admisión salga inmediatamente por la válvula de escape y para cuando estas se cierran, ya no quedara suficiente aire dentro de la cámara y se genere una mezcla “rica”, y una relación aire-combustible más baja de lo debido para sustentar la combustión completa. El segundo problema que se puede presentar y que es aún más grave, es que las válvulas se desplacen más de lo debido, sobrepasando el punto muerto superior del pistón, y que este en su carrera de ascenso choque contra las válvulas, generando daños irreversibles al interior del motor.

Por otra parte, las pruebas de ensayo y error en los procesos de destalonado no son adecuadas para estos procedimientos, pues la diferencia entre un desbaste óptimo y uno inadecuado puede ser de algunos micrómetros, dependiendo de las dimensiones de la pieza. Adicionalmente, dados los altos costos que representa la compra y modificación de decenas de árboles de levas para realizar pruebas y las dificultades que esto representa, es inviable económicamente pensar en realizar este tipo de procedimientos en un vehículo de competencia, para el cual el presupuesto de inversión debe ser repartido adecuadamente en otras muchas adecuaciones mecánicas. Es definitivamente una utopía esperar un rendimiento

máximo del vehículo sin llevar a cabo un estudio teórico previo que permita alcanzar niveles máximos de eficiencia.

Como se ha podido observar, existe una necesidad latente dentro del gremio de la repotenciación automotriz, donde el proceso de destalonado para árboles de levas se presenta como una posible opción rápida y económica para los equipos de competencia y los preparadores que buscan mejorar las prestaciones de sus vehículos. Sin embargo, no existe suficiente información que permita asegurar el éxito del proceso, tanto en el alcance de los objetivos para el cual se realiza, como en las consecuencias que implique esto sobre el motor y sus componentes.

Es así como este proyecto tiene como objetivo comprobar la existencia de un cambio en la potencia obtenida luego de realizar un desbaste de material en un árbol de levas de un vehículo Chevrolet Sprint modelo 1988 carburado.

El proceso de destalonado que se realizó en un árbol de levas de un motor ciclo Otto, permitió modificar los tiempos de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape, así como de sus tiempos de permanencia, aumentando de forma considerable la eficiencia volumétrica en el cilindro, y por ende esto se refleja en un aumento en la potencia obtenida.

El valor de desbaste o destalonado óptimo fue hallado de la siguiente manera: Se tomaron como parámetros de variación, la alzada máxima de leva y la permanencia. El punto de partida fueron las dimensiones del árbol de levas original, y como límite máximo se tomó la alzada máxima permisible para las válvulas antes de que estas choquen con el pistón. Cabe aclarar que este último caso se halló ubicando el pistón en su punto muerto superior y haciendo que la válvula descienda hasta tocarse con este. Puesto que los balancines serán los mismos, del dimensionamiento del árbol de levas original fue posible obtener el valor de relación entre la alzada de válvulas y la alzada de levas. Por otra parte, Samaniego en su proyecto de grado “Comparación de las características de eficiencia de un motor Suzuki Forsa G10 SOHC al variar secuencialmente elementos posibles de trucaje para competición a través de un banco de pruebas”<sup>[1]</sup>, usó un árbol de levas pre-fabricado de competición, del cual se tomaron como referencia sus características para ser simuladas junto con las del árbol de levas original y las calculadas para la máxima alzada de la válvula, obteniéndose diferentes valores de potencia y par tursor para cada uno de estos

casos. Posteriormente se procedió a iterar entre estos tres casos hasta hallar el valor de destalonado más adecuado para el proyecto.

Luego de realizado el destalonado se procedió a realizar las pruebas de potencia por medio del dinamómetro de cubos DynaPack, el cual cuenta con capacidad de 400 kW para mediciones de potencia. Finalmente se pasó a comparar las curvas de potencia y par, las cuales evidenciaron que efectivamente se da un incremento de potencia desarrollada por el vehículo luego de haber realizado este procedimiento.

De esta manera, se busca fomentar el estudio y el interés de estudiantes y profesores por el campo de la industria automovilística, el automovilismo deportivo y toda la ciencia que implica la preparación y repotenciación de un vehículo de competencia, temas tan olvidados por la comunidad universitaria.

Los resultados obtenidos, las experiencias y toda la documentación que este proyecto permitió recopilar, brindará a los equipos, preparadores y entusiastas información veraz que será útil en el marco de un proceso de destalonado de un árbol de levas por medio de un desbaste de material.

## 1. MARCO TEÓRICO

Los motores de combustión interna tienen como misión la transformación de la energía química presente en el combustible en energía mecánica efectiva. Esto es posible gracias a la reacción química que se genera de mezclar una pequeña cantidad de combustible con otra cantidad mucho mayor de aire, buscando mantener una relación ideal de 14,68 gramos de aire por 1 gramo de combustible. La mezcla es comprimida para luego dar paso a una chispa que incendia el combustible. El calor generado por esta explosión, excita las partículas del aire, produciendo movimientos fuertes y acelerados de las mismas, característicos de cualquier gas cuando se eleva su temperatura, los cuales se traducen en fuerzas hacia el exterior del cilindro y desplazan el pistón hacia abajo, pasando así de la energía química presente en el combustible a energía mecánica.

Es así pues como Castro plantea la siguiente ley: “La potencia de un motor no puede ser aumentada nada más que en la misma medida en que se consigue aumentar su consumo de oxígeno” <sup>[2]</sup>.

Al igual que lo hace este autor, se puede concluir que solo existen tres formas de generar un aumento de potencia en un motor de combustión interna:

- Aumento de la cilindrada
- Aumento de la presión media efectiva
- Aumento del régimen de giro

Es de esperar que los mejores resultados se den con la implementación de las tres técnicas conjuntas, sin embargo este trabajo está enfocado solo a obtener un aumento de potencia mediante un aumento de la presión media efectiva.

Así pues para Pellegrini, “un término muy usado y que permite tener una idea desde el punto de vista cuantitativo de la cantidad de mezcla quemada en un motor es la presión media efectiva. Esta puede definirse como el valor medio de las presiones en el interior de la cámara de combustión durante todo el ciclo de funcionamiento” <sup>[3]</sup>.



De esta manera, Pellegrini <sup>[3]</sup> propone la siguiente ecuación para determinar de una manera empírica la PME:

$$PME = \frac{900000 * 1.341 * kW * \eta_V}{Cilindrada * RPM} \quad (1)$$

Dónde:

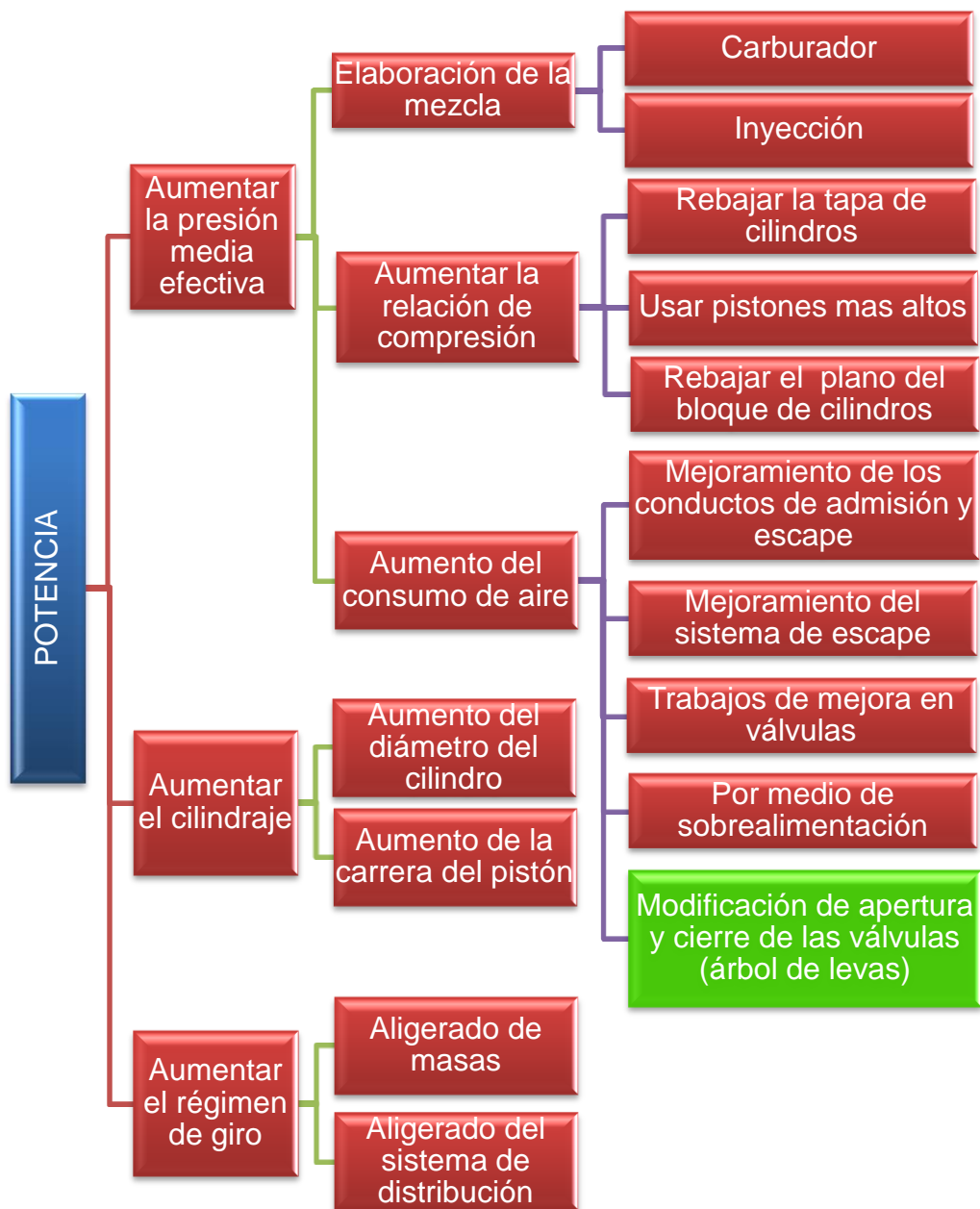
$kW$  es la potencia máxima medida en kilovatios registrada para el motor.

$RPM$  son las revoluciones de giro para las cuales se registra la máxima potencia.

$\eta_V$  es la eficiencia volumétrica calculada para el motor.

Un aumento de la PME se logra aumentando el consumo de aire, lo que significa un mayor consumo de la mezcla de aire–combustible en un rango determinado de tiempo generando una mayor potencia, para lo cual en este caso se realizara un trabajo en el árbol de levas que permita hacer un cambio en la apertura y cierre de las válvulas. Esto puede notarse con más claridad en la figura 1, en la que se muestra un sencillo esquema de las posibles modificaciones que se pueden realizar a un motor, y como estas se encuentran encaminadas a obtener mejoras en la potencia.

Figura 1. Esquema de posibles acciones para aumento de potencia



Según Pellegrini, la potencia del motor es directamente proporcional a la cantidad de aire que entra al cilindro y es retenido hasta que ocurre la ignición. Reduciendo

la resistencia del flujo de aire en el tramo de entrada y salida, el llenado del cilindro aumenta y la potencia se incrementa en forma directamente proporcional. La cantidad de potencia que se gana por la mejora del flujo de aire depende de la eficiencia volumétrica del motor. Un motor con 60% de eficiencia volumétrica puede ser mejorado en mayor medida que uno con 90% de eficiencia.<sup>[3]</sup>

Para un motor de combustión interna la eficiencia volumétrica ( $\eta_v$ ) se puede determinar de la siguiente manera:

$$\eta_v = \frac{5600 * 1.341 * kW}{RPM * 0.061 * cm^3} * 100\% \quad (2)$$

Dónde:

*kW* es la potencia máxima medida en kilovatios registrada para el motor.

*RPM* son las revoluciones de giro para las cuales se registra la máxima potencia.

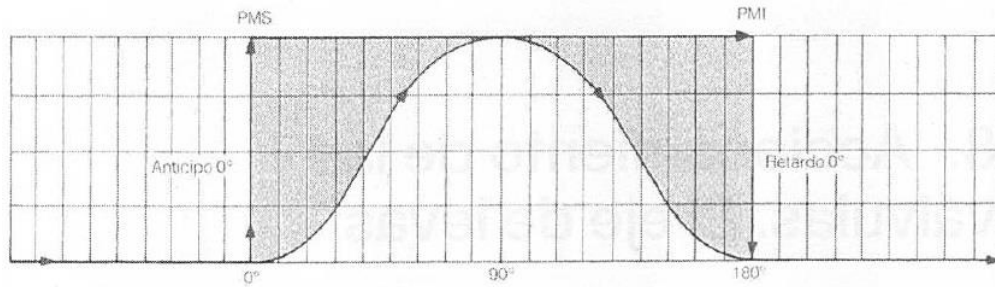
*cm<sup>3</sup>* es la cilindrada del motor en centímetros cúbicos.

Se presenta de esta manera el término de eficiencia volumétrica, que se entiende como la efectividad que se puede alcanzar en el llenado del cilindro así como en la salida de los gases producto de la combustión, es decir, que se encuentra asociada principalmente a los sistemas de admisión y de escape, los cuales son determinantes en buena medida de la potencia generada por un motor.

Las válvulas de admisión y escape son las encargadas de permitir la entrada de aire y la salida de los gases productos de la combustión del cilindro en el cual se produce la reacción. En teoría, suponiendo el caso de la válvula de admisión, esta debería estar abierta completamente cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior, y cerrarse inmediatamente cuando el pistón alcance el punto muerto inferior, tiempo en el cual el cigüeñal ha recorrido desde 0° hasta 180°. Pero es obvio notar que esto no dejará de ser tan solo un ideal, pues las válvulas dependen del árbol de levas para su funcionamiento, el cual es responsable de generar una apertura y un cierre regulados durante un rango de tiempo. Cabe resaltar que durante estos lapsos de tiempo que tardan las válvulas en abrir o cerrar, el flujo de aire y gases será variable según la alzada que tenga la válvula en cada instante de tiempo y la energía cinética que presenten los gases, siendo este último un factor determinante no solo en los tiempos de apertura y cierre, sino

también en los tiempos de permanencia de las válvulas. Esto se observa con más claridad en la figura 2, la cual muestra el perfil de alza para una válvula actuando en una situación teórica.

Figura 2. Levantamiento de una válvula cuando actúa solamente en 180° en una interpretación teórica del diagrama.

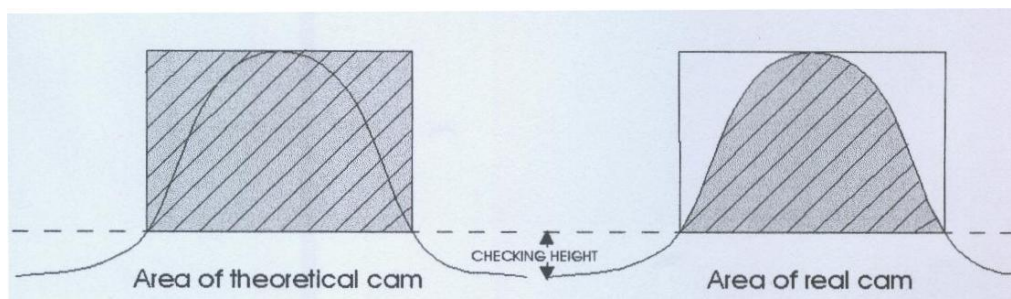


GILLIERI, Stefano. Preparación de motores de serie para competición. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1997.

En esta parte, Pellegrini <sup>[3]</sup> hace referencia a un término denominado factor de leva. Este factor permite tener una idea del caudal de aire que ingresaría a la cámara de combustión con una leva supuesta. Esto se logra tomando el área bajo la curva de un perfil de levas real comparado con un perfil de levas ideal tal como se muestra en la figura 3.

$$\text{Factor de leva} = \frac{\text{Área bajo la curva leva real}}{\text{Área bajo la curva leva ideal}} * 100 \quad (2)$$

Figura 3. Área bajo la curva de leva teórica y leva real.

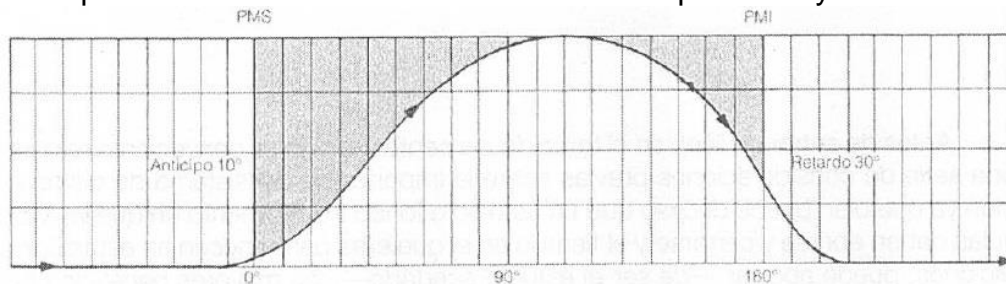


PELLEGRINI, Humberto. Notas de clase: Preparación de motores atmosféricos y sobrealimentados. La Plata, 2006.

Gillieri menciona que, para conseguir llenar el cilindro no puede esperarse a la llegada é inflexión del pistón al PMS, ni tampoco puede cerrarse la válvula en el momento de la llegada al PMI porque la pérdida de espacio para dejar paso a la mezcla sería obstaculizada; ya sabemos que la potencia sale de la mezcla de combustible y que a mayor consumo de mezcla, mayor potencia será obtenida.

En consecuencia, la disposición de las levas y el anclaje de estas al árbol de levas debe poder permitir que las válvulas se abran antes de llegar el pistón a su PMS, con el fin de que en el momento inicial del descenso la válvula ya esté, por lo menos, parcialmente abierta y, del mismo modo, que la válvula no se cierre en el mismo PMS para aprovechar todavía, de esta forma, la inercia que ha adquirido la corriente de mezcla durante su entrada para vencer el vacío creado por el descenso del pistón.<sup>[4]</sup> En la figura 4 se muestra un ejemplo de esto, donde la válvula tiene 10° de anticipo en su apertura y 30° de retraso para el cierre de la misma.

Figura 4. Apertura de la válvula cuando ha sido anticipada 10° y retardada 30°.



GILLIERI, Stefano. Preparación de motores de serie para competición. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1997.

Es claro que entre mayor sea el régimen de giro, menor será el rango de tiempo disponible para que la mezcla llene el cilindro, y a su vez, los gases de escape salgan completamente. En vehículos en los cuales el motor trabaja bajo regímenes altos de revoluciones, el llenado del cilindro no va a ser completado, conllevando a pérdidas importantes de potencia.

El llenado del cilindro con la mezcla aire-combustible se verá determinado entonces, entre otros factores, por el flujo de mezcla que entra por la válvula de admisión, y el flujo de gases que salen por la válvula de escape.

Con esto, se debe recurrir a una herramienta que permita determinar cuál es el flujo óptimo de mezcla para un cilindro y unas válvulas determinadas, el cual, como se ha mencionado anteriormente, es posible modificar mediante las variaciones en la alzada de la válvula y los tiempos de permanencia de las mismas, además de otros trabajos aquí no mencionados que de igual manera permiten aumentar el flujo de mezcla, como el desbaste de material en la culata, que permite aumentar la velocidad de la mezcla mediante el pulimiento de impurezas presentes en los conductos de admisión y escape de la cámara de combustión, y que obstruyen el correcto paso del aire.

De esta manera se presenta la flujometría como una rama de la ciencia de la metrología, y es la encargada de medir el flujo de aire que ingresa o sale del cilindro para las cuestiones de aplicación a la ingeniería mecánica automotriz, sirviéndose de la medición de la resistencia al paso de aire en los múltiples de admisión y escape, en los conductos del tapa cilindros, entre otros.

Por su parte Pellegrini expone que, una prueba de flujo consiste en medir el caudal de aire, o flujo de aire, que pasa por dicho conducto, con una presión de prueba constante. El aire puede ser soplado o succionado a través del conducto. Luego, una vez hecha la medición, se trabaja el conducto y se vuelve a medir con la misma presión de prueba y si el valor del flujo medido es mayor que en el caso anterior, esto indica que el trabajo hecho fue positivo.

Para probar el flujo en los conductos de admisión, el aire es succionado a través del conducto de la tapa de cilindros hacia el interior del flujómetro, pasa a través del orificio de medición, luego por los sopladores que lo mueven y es expulsado por la parte trasera.

La presión de prueba se mide con un manómetro de columna de líquido que tiene una rama conectada a la presión atmosférica y la otra a la base del cilindro adaptador. La presión de prueba se ajusta a valores estándar, por ejemplo 6.227 kPa o 25 inH<sub>2</sub>O, mediante el giro de una manivela de control de flujo.

Hay una válvula para el control de admisión y otra para el control de escape. La cantidad de flujo, se lee en los manómetros de tubo inclinado, que mide porcentajes de flujo para seis rangos determinados que se pueden seleccionar.<sup>[3]</sup>

## **2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **2.1 MEDICIÓN INICIAL DE POTENCIA**

El vehículo destinado para la realización de este proyecto, un Chevrolet Sprint G10 modelo 1988 carburado, es sometido a pruebas de potencia mediante el uso de un dinamómetro. Los resultados de estas pruebas permiten obtener las curvas de par y potencia reales que son transmitidos a las ruedas motrices del vehículo de estudio.

Para esto se usó un dinamómetro de cubos de la marca DynaPack, adscrito al Laboratorio de Pruebas Dinámicas Automotrices (LPDA) de la Universidad Tecnológica de Pereira.

#### **2.1.1 Montaje del vehículo en el dinamómetro**

Antes de iniciar las pruebas de potencia, se verificó que el vehículo estuviera operando correctamente y sin ninguna anomalía. Puesto que durante las pruebas de potencia el carro es sometido a altas cargas, se hizo necesario revisar que los niveles de aceite y líquido refrigerante del motor se encontraran en los niveles adecuados.

Posteriormente se procede a realizar el montaje del automóvil a los módulos del dinamómetro. Este acoplamiento es posible retirando las ruedas motrices del vehículo, e instalando en su lugar los adaptadores y suplementos, que son accesorios del dinamómetro. Estos se deben asegurar con los mismos pernos del vehículo.

Este procedimiento se realizó siguiendo el documento “Manual N°23. Montaje del automóvil a dinamómetro DynaPack” [5].

En las figuras 5 y 6 se observa el montaje del vehículo a los respectivos cubos del dinamómetro DynaPack ubicado en las instalaciones del LPDA de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Figura 5. Montaje del vehículo en el cubo izquierdo del dinamómetro



Figura 6. Montaje del vehículo en el cubo derecho del dinamómetro





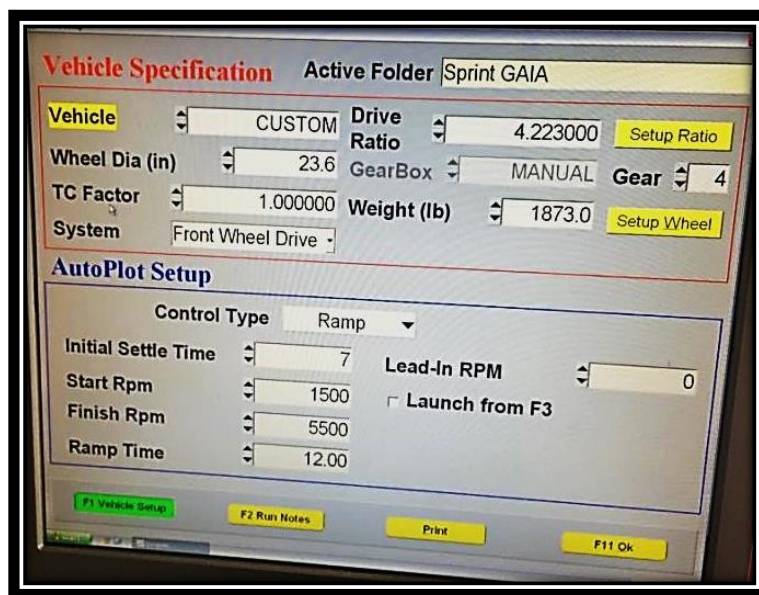
### 2.1.2 Alistamiento y verificación de las características del vehículo

Luego de haber acoplado el vehículo al dinamómetro de cubos DynaPack, el software de este requiere que se completen todos los campos referentes a las especificaciones técnicas del automóvil, tal como se muestra en la figura 7.

En el documento “Manual N° 15. Prueba de potencia en dinamómetro DynaPack”<sup>[6]</sup>, se encuentran los datos requeridos para los vehículos Chevrolet Sprint, los cuales han sido unificados gracias a estudios previos ya realizados en el LPDA. Así pues, la relación de transmisión, o Drive Ratio en inglés como se denomina en el software del dinamómetro, se encuentra estandarizada en este manual con un valor de 4.006 para vehículos Chevrolet Sprint con motores G10 que se encuentren en estado original, cuando estos son operados en la 4ta marcha de su relación de trabajo.

Sin embargo, el vehículo de estudio no cuenta con su transmisión original, pues esta ha sido cambiada por otra perteneciente a un Chevrolet Swift 1.3, motivo por el cual fue necesario recalcular este valor.

Figura 7. Pantalla correspondiente al software del dinamómetro en la cual se ingresan las especificaciones del vehículo



La determinación de la relación de transmisión del vehículo de estudio se realizó siguiendo el procedimiento descrito para esto en el documento “Manual N° 15. Prueba de potencia en dinamómetro DynaPack” [6].

Tal como se observa en la figura 8, con el motor encendido y el vehículo operando en la 4ta marcha de su relación de trabajo, se midió las revoluciones de este usando una lámpara estroboscópica Actron CP7529 y se compararon con las revoluciones registradas por el dinamómetro en su pantalla, las cuales se evidencian en la figura 9.

Figura 8. Medición de revoluciones del motor



Figura 9. Medición de revoluciones en el dinamómetro



La velocidad del dinamómetro fue variada hasta que esta fuera igual a la registrada en el motor del vehículo. A medida que se realizan estos cambios, el software cambia la relación de transmisión hasta encontrar el valor correcto.

De esta manera, la relación de transmisión para el vehículo de estudio es de 4.223 cuando este se encuentra operando en la 4ta marcha de su relación de trabajo.

## **2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ÁRBOL DE LEVAS ORIGINAL**

Tener las medidas correctas de la leva permitirá crear una simulación cercana a la realidad del mecanismo leva-seguiror presente en el motor y de la potencia generada por este.

Para esto se realizaron dos procedimientos que posteriormente fueron comparados: Medición sobre el vehículo por medio de comparador de carátula y medición por medio de la máquina de coordenadas.

### **2.2.1 Medición por medio de comparador de carátula**

Esta medición se hizo con el motor en frío y siguiendo el paso a paso construido en la “Guía experimental para la medición del cambio de potencia de un motor de combustión interna ciclo Otto al modificar el árbol de levas bajo el procedimiento de destalonado”, la cual se encuentra en el anexo 1.

Basados en esta guía, lo primero a realizar es la determinación del punto muerto superior según el cilindro que se vaya a medir. Para esto se retiró una de las bujías y en su lugar se instaló un comparador de carátula, tal como se observa en la figura 11. Cuando el pistón sube, toca el vástago del comparador y esto se refleja en un aumento de la medida análoga que brinda el instrumento.

Se toma entonces el punto muerto superior como aquel momento en que el reloj del instrumento deja de aumentar su valor y comienza a disminuir.

Fue necesario el diseño y fabricación de una pieza que permitiese acoplar y asegurar el comparador de carátula al bloque del motor, la cual se observa en la figura 10. Esta se hizo tomando como referencia el diámetro, la rosca y el paso de la bujía, así como el diámetro y el largo del vástago del comparador.

Figura 10. Pieza de acople para comparador de carátula



Figura 11. Comparador de carátula acoplado al bloque del motor



Luego de encontrar el punto muerto superior se instaló un transportador con 360° de división, para el cual se buscó que el PMS coincidiera con el 0° del transportador.

- **Extracción del tapa-válvulas**

Esta debe ser retirada del motor para tener acceso al árbol de levas que acciona las válvulas dispuestas en el motor. Para esto, debe retirarse en primer lugar el filtro, pues este va atornillado al tapa-válvulas.

Posteriormente son retirados los tres tornillos adicionales que aseguran el tapa-válvulas.

- **Medición de la alzada de válvulas**

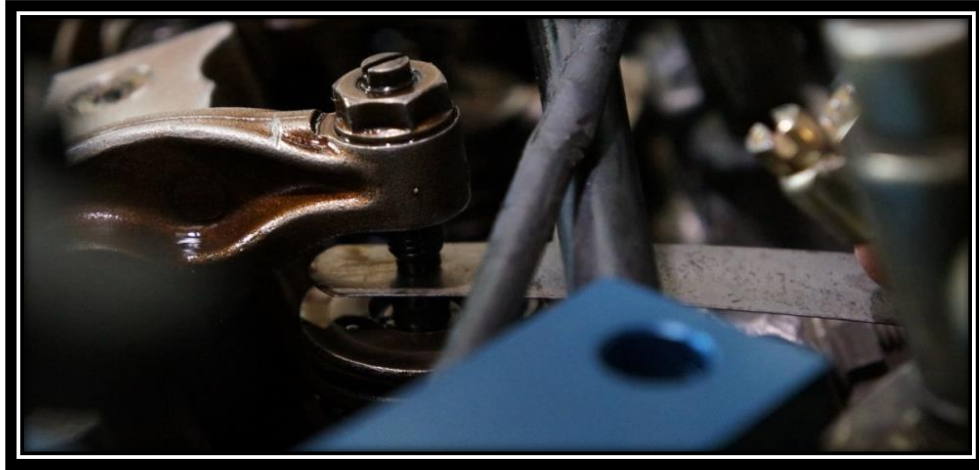
Por medio de un comparador de carátula, se mide la alzada de las válvulas de admisión y escape para cada grado de giro que se de en el cigüeñal. Sin embargo, antes de esto debe verificarse que las válvulas estén bien calibradas, lo cual se logra usando las galgas de calibración, similares a las que se muestran en la figura 12, según las recomendaciones del fabricante.

Figura 12. Galgas de calibración



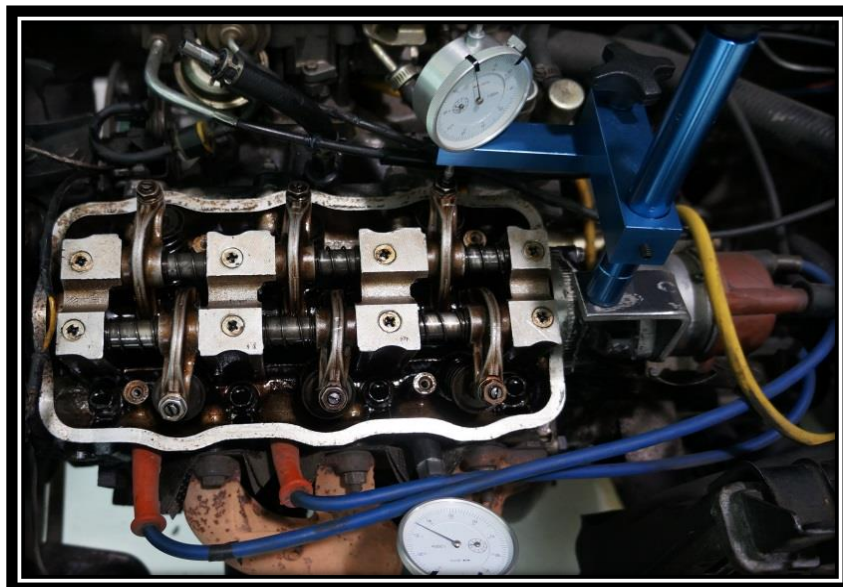
La calibración se realizó tal como se muestra en la figura 13, usando una galga de calibración de espesores de 0.08 mm.

Figura 13. Calibración de válvulas usando galgas de calibración



Luego de haber calibrado las válvulas, el vástago del comparador de carátula se instaló sobre el balancín, buscando que su inclinación sea paralela a la inclinación que tiene la válvula. Para esto fue necesaria la construcción de una pieza en forma de “L”, la cual se observa en el costado derecho de la figura 14. Usando esta pieza y con la cual con ayuda de los demás accesorios del comparador de carátula, se logró asegurar el instrumento junto al distribuidor.

Figura 14. Comparador de carátula midiendo alzada de válvula.

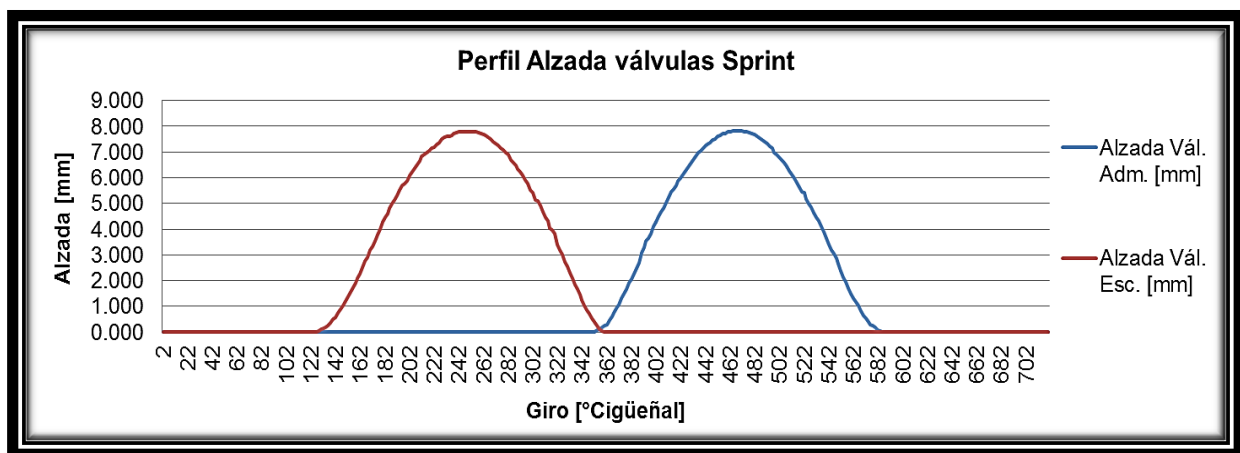




Luego de tener instalado el comparador de carátula se procedió a realizar las mediciones de alzada de las válvulas de admisión y escape. Se recurrió a girar la llanta delantera para ayudar a que el árbol de levas tuviese un giro suave, permitiendo mediciones con intervalos de dos grados de giro.

Realizadas las 180 mediciones tanto para la válvula de admisión como para la válvula de escape, los datos son consignados en Excel para graficar el comportamiento de estas durante su desplazamiento frente al giro del árbol de levas, lo cual se observa más claramente en la figura 15. Sin embargo, estas gráficas se presentan en grados de giro de cigüeñal, siendo la forma más común de hacerlo y teniendo presente que cada grado de giro del árbol de levas equivale a dos grados de giro del cigüeñal.

Figura 15. Perfil de alzada de válvulas Sprint



Los valores obtenidos de esto son:

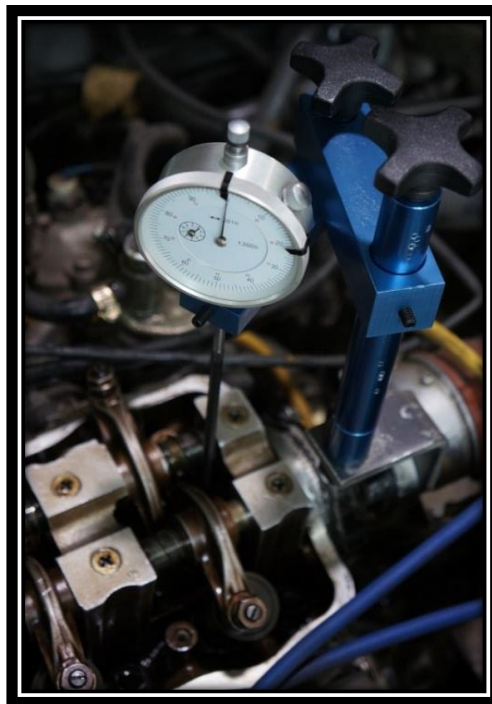
- Permanencia válvula de admisión: 232° (\*)
- Permanencia válvula de escape: 234° (\*)
- Traslape: 6° (\*)
- Alzada máxima válvula de admisión: 7.823 mm = 0.308 in
- Alzada máxima válvula de escape: 7.798 mm = 0.307 in

(\*) Representado en grados de giro del cigüeñal.

- **Medición del árbol y sus levas**

Para realizar el perfil de la leva se realizó el mismo procedimiento usado para perfilar la alzada de las válvulas, pero cambiando de posición el comparador de carátula. La figura 16 muestra como el vástago de este debe ubicarse en un sitio en el cual quede en contacto con la leva, y así mismo no sea tocado por los balancines o ninguna otra parte del motor en ese momento.

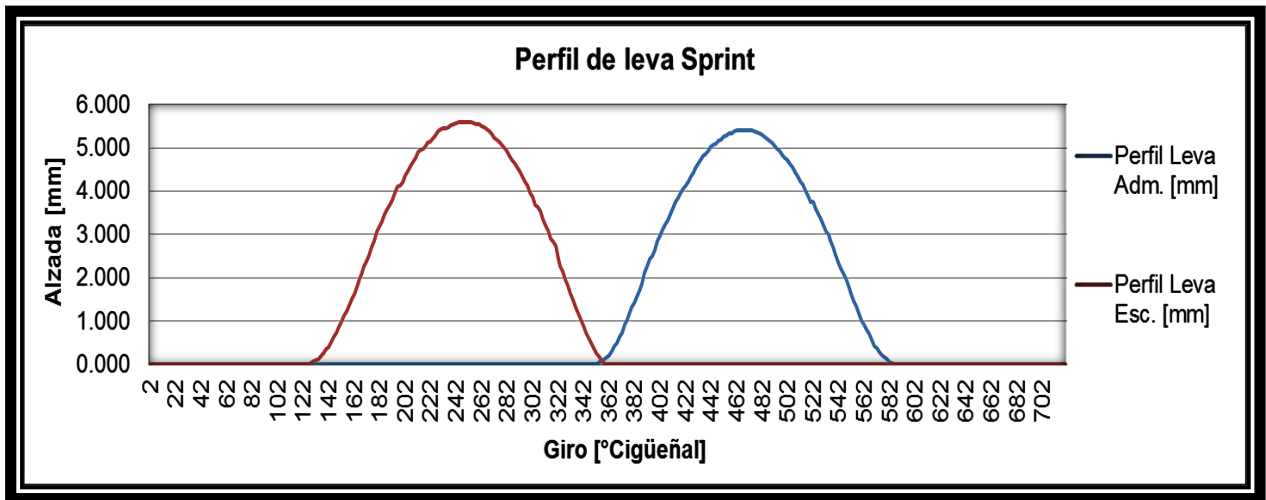
Figura 16. Comparador de carátula midiendo alzada de leva



Realizadas las mediciones, los datos fueron igualmente consolidados en Excel, obteniendo la gráfica que se muestra en la figura 17.



Figura 17. Perfil de alzada de levas para un vehículo Chevrolet Sprint original



Los valores obtenidos de esto son:

- Alzada máxima leva de admisión: 5.410 mm = 0.213 in
- Alzada máxima leva de escape: 5.588 mm = 0.220 in

El producto de la relación entre la alzada de la leva y la alzada de la válvula da como resultado la relación del balancín. Esta es multiplicada por el desplazamiento axial que tenga la leva, lo que se refleja en una mayor apertura de la válvula.

Así pues, se tiene que para las mediciones realizadas:

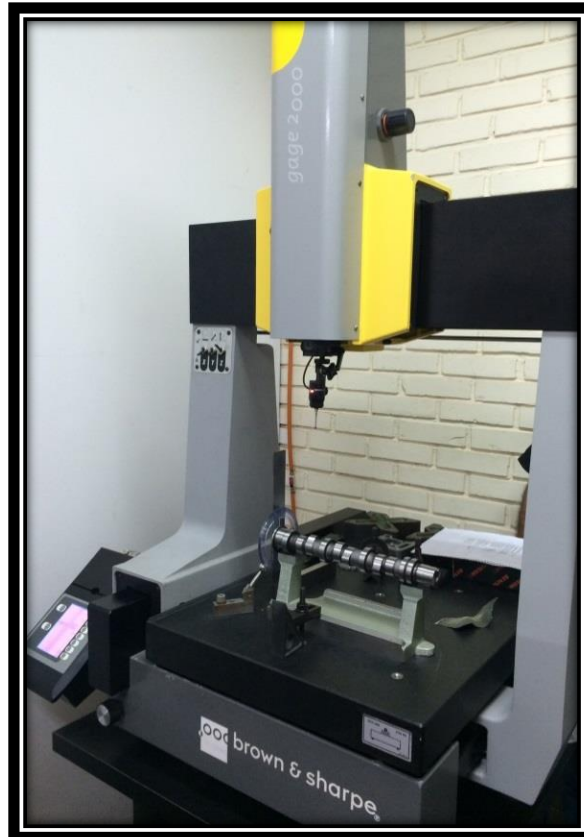
- Relación de balancín válvula de admisión: 1.446
- Relación de balancín válvula de escape: 1.395

## 2.2.2 Medición por medio de la máquina de coordenadas

La medición que se realizó sobre el vehículo Chevrolet Sprint en el LPDA involucró el árbol de levas original, el cual tiene un desgaste normal por el tiempo y el uso. Para la medición realizada en la máquina de coordenadas se usó un árbol de

levas de la misma referencia al anterior, pero en estado nuevo, con el fin de destalonar este y no el que viene originalmente con el vehículo.

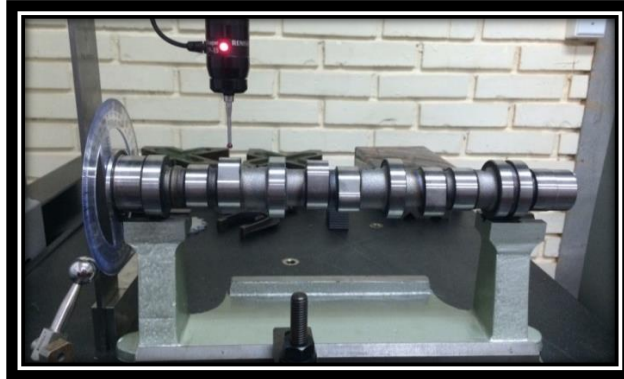
Figura 18. Máquina de coordenadas Brown & Sharpe



La medición se realizó en la máquina de coordenadas que se observa en la figura 18, siendo esta de marca Brown & Sharpe Mff-Co modelo Gage 2000, con la colaboración y supervisión de los ingenieros Gabriel Calle y Carlos Montilla, al igual que con la colaboración de la estudiante Luisa Salazar.

Para la toma de datos, el árbol fue colocado sobre apoyos que permiten su deslizamiento y fue provisto con un transportador en una de sus caras para observar los grados de giro a los cuales se tomaba la medida, el cual se observa al costado izquierdo de la figura 19.

Figura 19. Medición del árbol de levas en la máquina de coordenadas



Dado que no había elementos que permitiesen darle giro al árbol, este movimiento se hizo de forma manual con ayuda del transportador, lo que permitió tomar medidas con un intervalo de solo 5 grados de giro por cada medida de la alzada de leva.

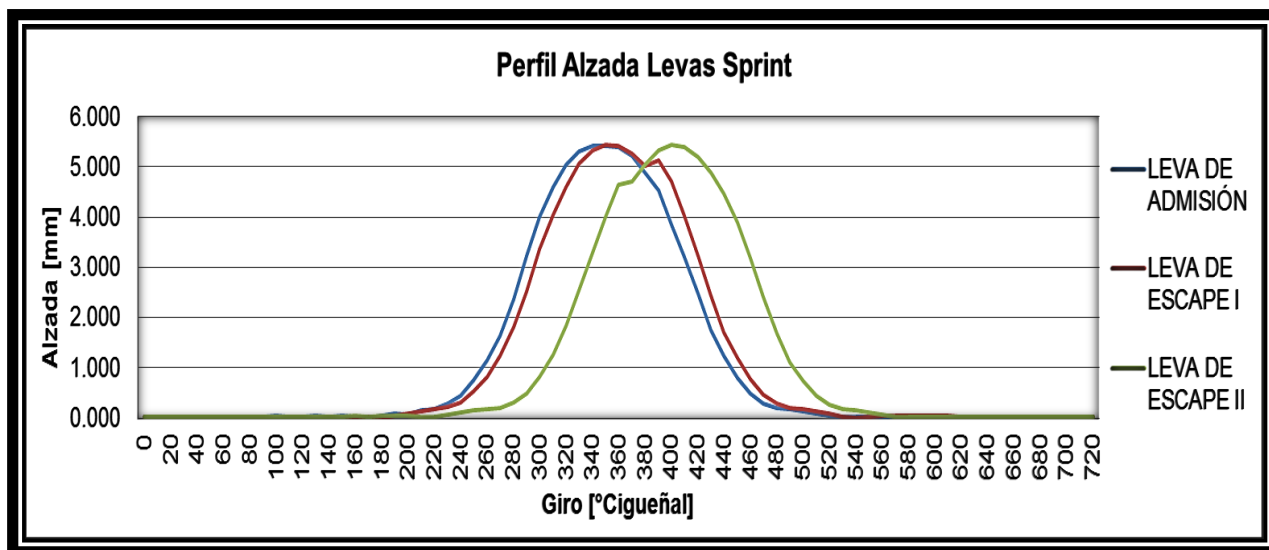
Se realizaron dos mediciones diferentes para las levas de escape del árbol de levas nuevo, esto debido a que para estas en particular, el valor inicial de la medida o del punto de referencia no coincidía con el valor final del ciclo de medición. En la figura 20 es posible observar la pantalla de información de la máquina de coordenadas cuando esta se encontraba midiendo en el punto de referencia.

Figura 20. Pantalla de la máquina de coordenadas cuando esta se encontraba ubicada en el punto de referencia



En las mediciones del árbol de levas nuevo en la máquina de medición por coordenadas, uno de los apoyos presentaba un leve rayón el cual no permitía un giro suave del árbol en un punto específico.

Figura 21. Perfil de levas del árbol de levas nuevo



Este rayón se ve reflejado en el registro de datos de la leva de escape y en su respectiva curva, la cual es mostrada en la figura 21 donde se observa una interrupción del perfil de la leva.

Así pues, se tiene que para las mediciones realizadas en la máquina de coordenadas:

- Alzada máxima leva de admisión: 0.214 in = 5.428 mm
- Alzada máxima leva de escape (1er Registro): 0.214 in = 5.447 mm
- Alzada máxima leva de escape (2do Registro): 0.215 in = 5.450 mm

Comparando ambos árboles de levas, que teóricamente deben ser iguales, y teniendo en cuenta que ambos fueron medidos bajo diferentes técnicas, se presenta la siguiente comparación en la tabla 1:

Tabla 1. Comparativa de medición en LPDA y en máquina de coordenadas

ALZADA MÁXIMA LEVA ADMISIÓN				ALZADA MÁXIMA LEVA ESCAPE					
Medición LPDA		Medición Maquina Coordenadas		Medición LPDA		Medición Maquina Coordenadas I		Medición Maquina Coordenadas II	
[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
0.213	5.410	0.214	5.428	0.220	5.588	0.214	5.447	0.215	5.450

La leva de admisión del árbol original presenta una alzada máxima muy similar a la del árbol nuevo, con una leve diferencia de 0,018 mm. Los errores de medición y el desgaste de la pieza hacen pensar que esta diferencia sea razonable.

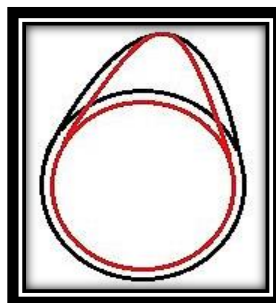
## 2.3 DISEÑO DE LA LEVA MODIFICADA

En un proceso de destalonado se busca desbastar material de la parte trasera o “talón” de la leva, esto hará que la válvula tenga una apertura más pronta y un cierre con mayor retraso, lo que se traduce en una mayor permanencia.

Por otra parte, al instalar un árbol de levas destalonado y hacer la calibración de válvulas, el seguidor se tendrá que acercar más al árbol para una correcta calibración, y esto se ve reflejado en una mayor alzada de la válvula.

En la figura 22 se ilustra con una línea negra el perfil de una leva original con su respectivo círculo base; la línea roja corresponde al perfil de una leva luego de haber sido destalonada y su respectivo círculo base.

Figura 22. Diseño de un destalonado de leva



Dado que el proceso de destalonado de un árbol de levas es una práctica empírica e informal, y que en la región no existen los equipos necesarios para realizar un estudio profundo que permitiese determinar los flujos de aire óptimos en la cámara de combustión, así como la relación de estos con el perfil de las levas y su influencia en el funcionamiento de las válvulas, se hace necesario plantear otras alternativas para determinar el valor que se va a desbastar.

Para determinar entonces el destalonado óptimo para este proyecto, el estudio se ha basado en datos obtenidos de otros árboles de levas para el mismo vehículo, así como de otras experiencias de trucaje de motores que menciona Samaniego<sup>[1]</sup> en su proyecto de grado. Con esta información se plantean las alternativas de diseño:

- Según un desbaste deseado, el cual es tomado como referencia de otra experiencia de destalonado en un árbol de levas.
- Buscando un aumento de permanencia deseado, la cual es tomada como referencia de la ficha técnica de otro árbol de levas de alto rendimiento especialmente diseñado para este vehículo.
- Buscando un aumento de potencia puntual, la cual se puede tomar como referencia tanto de un árbol de levas especialmente diseñado para este vehículo como de otras experiencias de destalonado.

Es de anotar que siempre abran limitantes de diseño, pero en este caso particular se debe prestar especial atención a las siguientes:

- El aumento en la alzada de la válvula podría provocar que esta chocase contra el pistón cuando este se encuentre en el PMS.
- Una permanencia prolongada de las válvulas abiertas podría generar inestabilidad en el motor, especialmente cuando se trabaja en un bajo régimen de revoluciones.

Bajo estas condiciones se definió que para determinar el valor adecuado para destalonar el árbol de levas es necesario simular la potencia del vehículo con el árbol de levas original, y a partir de esta variar los parámetros del árbol de levas

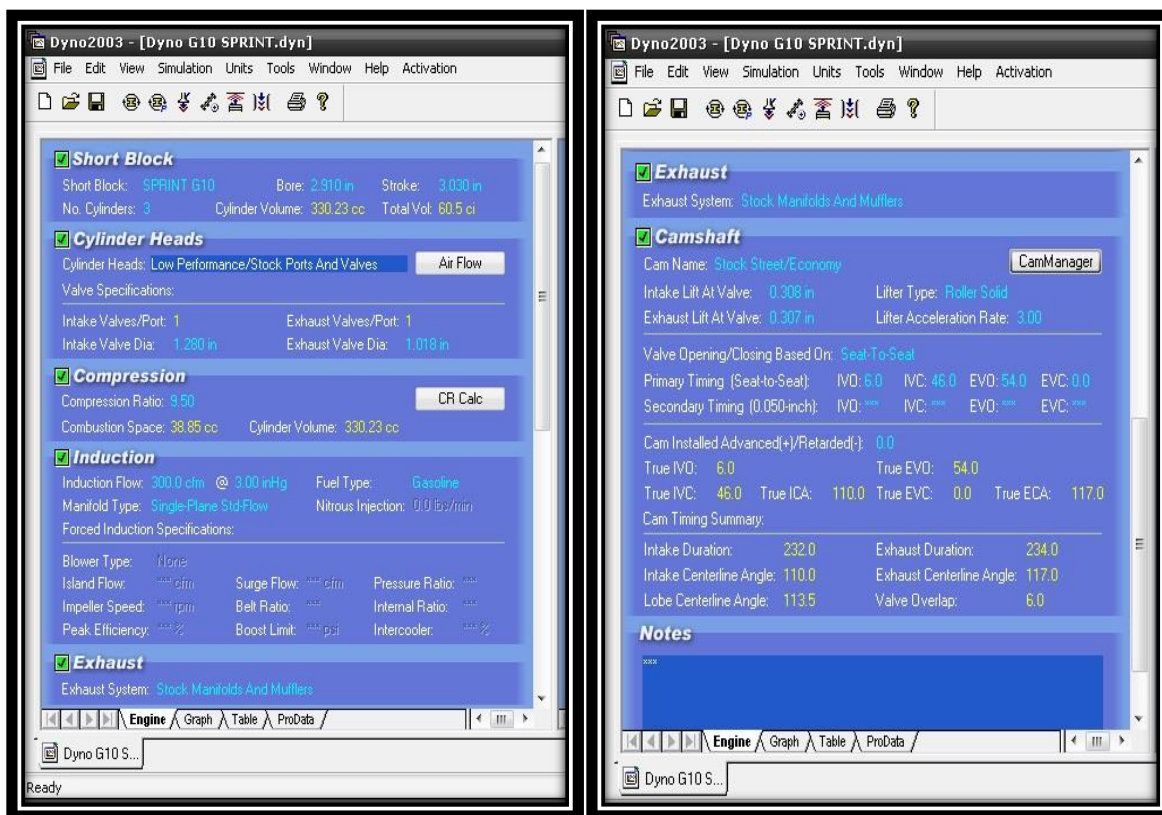
tomando como referencia las características de uno de alto desempeño, como el usado en el desarrollo del proyecto de grado presentado por Samaniego <sup>[1]</sup>, donde se usó un árbol de levas pre-fabricado, el cual aumenta la alza máxima de la válvula en 2,7178 mm = 0,107 in.

### 2.3.1 Simulación de potencia en software con árbol original

La simulación de potencia se realiza en el software Dyno2003 usando los datos obtenidos en el dimensionamiento del árbol de levas original, y la demás información requerida es tomada del catálogo del vehículo.

La figura 23 muestra la pantalla inicial del software Dyno2003 en la versión Demo, en la cual se observan los diferentes parámetros que pueden modificarse para la simulación.

Figura 23. Pantalla inicial del software de simulación Dyno2003



La información referente a características del bloque, la culata y la compresión son tomadas del catálogo del vehículo. Los parámetros referentes al árbol de levas han sido completados gracias a las mediciones previamente realizadas.

Sin embargo, no se tiene información concisa para los campos de inducción y escape, por lo cual el software asume unos valores estándar para la realización de los demás cálculos.

Con el fin de lograr una simulación con un porcentaje mínimo de errores, se pretendió realizar el cálculo del volumen de aire teórico de inducción, siendo esta una de las variables solicitadas por el software y que era aproximado automáticamente por este.

- **Cálculo del volumen de aire que ingresa al motor**

Para este análisis se tienen las siguientes consideraciones:

- Motor de combustión interna.
- Motor de 4 tiempos que opera con gasolina.
- Combustión estequiometría y completa.
- Relación de compresión de 9.5-1.
- El motor es estrangulado (sin sincronización variable de la válvula)
- Motor de aspiración natural (No forzada).
- La eficiencia volumétrica es 1,00.
- $V_{desplazamiento} = 993,5 \text{ [cm}^3\text{]}$  o aproximadamente 1 litro.
- Régimen de giro del motor = 3500 [RPM].
- $V_{\text{aire bombeado por minuto}} = \frac{V_{desplazamiento} \times RPM}{2}$
- $Q_{\text{aire bombeado}} = \frac{1 \text{ [l]} \times 3500 \text{ [RPM]}}{2} = 1.75 \text{ [m}^3\text{/min]} = 1750 \text{ [l/min]}$
- De la ley de los gases ideales sabemos que el aumento en el volumen del gas de escape será proporcional al aumento de la temperatura absoluta.
- Se asume una temperatura de entrada de 299.82 K (80 °F), y una temperatura de escape de 1255.37 K (1800 °F, supuesta de acuerdo a la relación de compresión).
- La temperatura absoluta será 539,67 °R y 2259,7 °R, respectivamente.



- El aumento de volumen será  $\frac{2259,7}{539,67} = 4,187$
- $V_{\text{gas de escape}} = 1750 \left[ \frac{l}{min} \right] \times 4,187 = 7327,25 \left[ \frac{l}{min} \right] = 7.327 \text{ [m}^3\text{/min]}$
- La gasolina es un octano que tiene una composición química de  $C_8H_{18}$  y cuenta con un peso molecular calculado así:  $(12 * 8) + (18 * 1) = 114 \text{ g}$
- Balanceando la ecuación se tiene que  $C_8H_{18} + 12,5 O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9 H_2O$
- Los gases producto de la combustión se componen de la suma de  $8CO_2 + 9 H_2O = 17$  moles de gas.
- Dado esto, se tiene que la relación entre el aire usado en la combustión y los gases generados será de  $\frac{17}{12,5} = 1,36$
- El porcentaje de oxígeno en el aire es de aproximadamente 21% y el restante 79% de otros compuestos.
- Los gases producidos por la combustión tendrán un aumento de volumen de acuerdo al oxígeno usado para la misma. Así pues, si se toma este 21% de oxígeno presente en el aire y se multiplica por la relación de aumento de volumen de los gases, se obtiene lo siguiente:  $21\% * 1,36 = 28,56\%$
- Así pues, asumiendo que no hay aumentos de temperatura, el volumen total de gases Post-combustión será de  $79\% + 28,56\% = 107,56\%$ , con relación al volumen de aire que ingresa al motor.
- Para un motor de 1 [l], operando a 3500 [RPM] y la mariposa completamente abierta se tiene que el volumen de gases de salida es de:  
 $258,76 [CFM] * 1,0756 = 278,32 [CFM] = 7.881 \text{ [m}^3\text{/min]}$

Así pues, para un motor de 1 [l] operando a 3500 [RPM] y la mariposa completamente abierta, el volumen de aire que entra será de 7.327 [m<sup>3</sup>/min] .

Bajo estas mismas condiciones, el volumen de gases producidos que salen del motor será de 7.881 [m<sup>3</sup>/min] .

Habiendo verificado la cercanía del volumen de aire de succión asumido por el software con el valor calculado teóricamente, se procede a variar los valores correspondientes al árbol de levas original ya medido, y de esta manera tener las curvas de potencia y par aproximadas, tal como se observa en la figura 24.

Figura 24. Pantalla del software cuando son ingresados los Datos del árbol de levas original

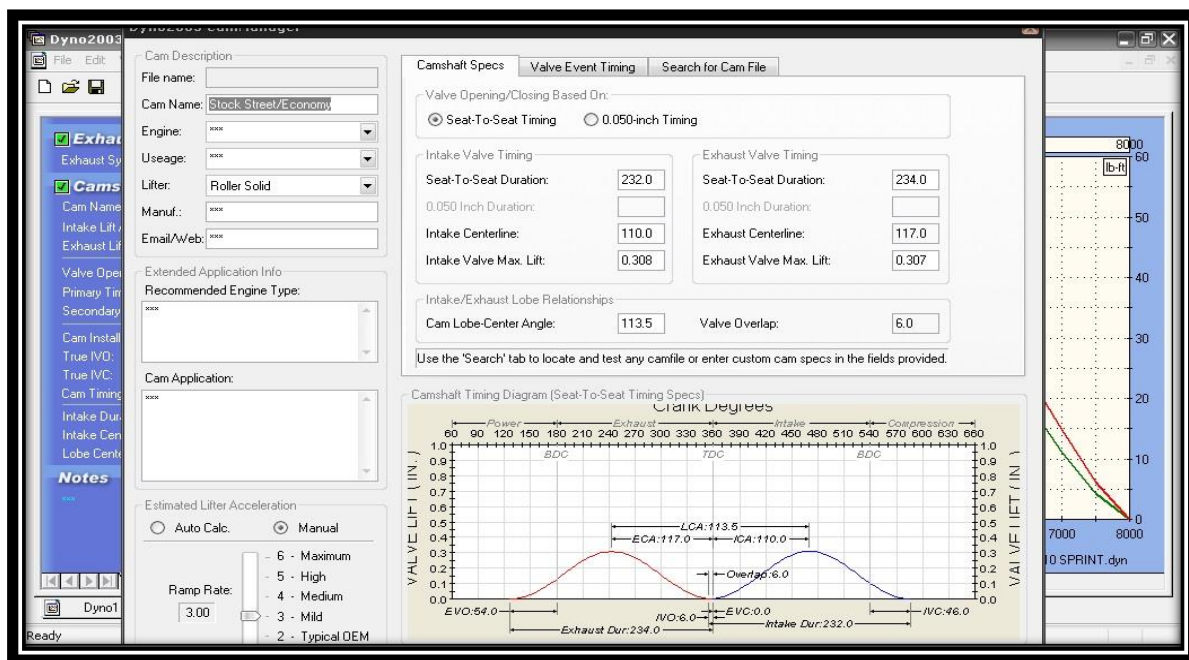
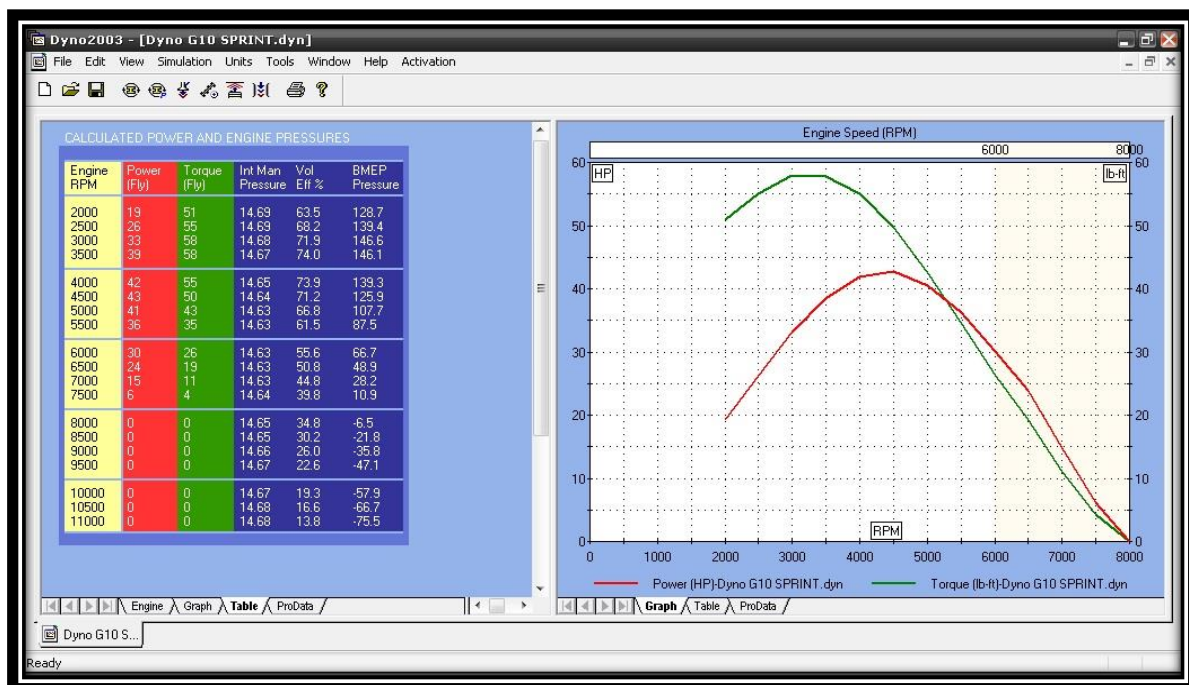


Figura 25. Curvas de simulación original



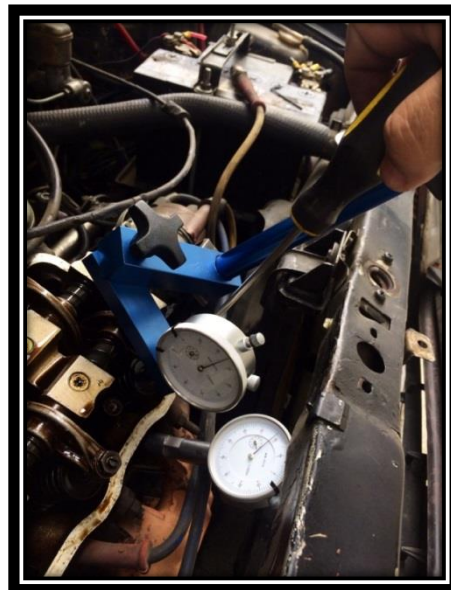
La figura 25 presenta que la potencia obtenida mediante la simulación usando el software Dyno2003 es de 43 HP (32.065 kW) a 4500 revoluciones por minuto. La potencia del vehículo según datos de catálogo es de 48 HP (35.794 kW).

Por lo tanto, la potencia obtenida mediante el uso de simulador tiene una variación cercana al 10% con respecto a los datos de catálogo. Esta variación puede darse principalmente por las asunciones realizadas durante la simulación.

### **2.3.2 Determinación de alzada máxima permisible para válvulas**

Dado que no se conoce la alzada máxima permisible de operación para las válvulas, se determinó está usando los comparadores de carátula.

Figura 26. Determinación de alzada máxima permisible



Con uno de los comparadores de carátula se encuentra el punto muerto superior para cada uno de los pistones. Posteriormente se aprieta el tornillo de calibración de válvulas, tal como se ilustra en la figura 26; Esta empezará a bajar progresivamente hasta su máximo posible o hasta que choque con el pistón.

La distancia recorrida por la válvula en su apertura es la máxima alzada permisible y es medida por medio de otro comparador de carátula.

El resultado de este análisis es un desplazamiento máximo de la válvula de admisión de 30.226 mm (1.19 in), y de 41.910 mm (1.65 in) para la válvula de escape, permitiendo un gran margen de seguridad para casi cualquier destalonado que se quisiera realizar. Esto teniendo en cuenta que bajo el uso del árbol de levas original, la alzada de la válvula es de 7.823 mm (0.308 in).

### **2.3.3 Modificación de valores en software**

Luego de haber simulado la potencia del vehículo usando la información del árbol de levas original, se procede a modificar los parámetros característicos de este para observar su influencia en la variación del par y la potencia.

Los datos obtenidos de la caracterización del árbol de levas original y de la simulación de potencia en software con el árbol original se muestran tabulados en la tabla 2, donde también se registraron las características del árbol de levas tomado como referencia del proyecto de grado presentado por Samaniego <sup>[1]</sup>, el cual se define en la tabla 2 como “Referencia Racing”.

De igual manera, se decidió tabular la alzada máxima permisible hallada anteriormente para las válvulas, esto con el fin de observar bajo simulación el comportamiento de las curvas de potencia y par para este caso supuesto.

Los demás valores de la tabla son iteraciones realizadas entre los valores ya conocidos, buscando el mayor aumento de potencia durante las simulaciones y tomando como límite inferior del rango la alzada de leva de árbol original, y como límite superior del rango la máxima alzada posible de leva. Además de la alzada de leva, la permanencia es otro dato requerido para la simulación de potencia mediante software. Es así como desconociendo la permanencia real que podría tener las alzadas de iteración, estas debieron ser calculadas por medio de interpolación entre las permanencias conocidas, como lo son la permanencia del árbol de levas original y la permanencia del árbol de levas “Referencia Racing”.

Tabla 2. Tabla de valores modificados y simulados

N°	NOMBRE	Leva [in]	Leva [mm]	Válvula [in]	Válvula [mm]	Permanencia [°Cigüeñal]	Destalonado [in]	Destalonado [mm]	Aumento Alz Vál [in]	Aumento Alz Vál [mm]	Potencia [kW]	RPM
1	Original / Stock	0.213	5.410	0.308	7.823	232	0	0	0.000	0.000	32.1	4500
2	ITERADO 1	0.241	6.110	0.348	8.835	261.0	0.028	0.7	0.040	1.012	41.8	5000
3	Valor Calculado	0.250	6.341	0.361	9.169	270.6	0.037	0.931	0.053	1.346	45.5	5500
4	ITERADO	0.252	6.410	0.365	9.269	273.5	0.039	1.000	0.057	1.446	46.3	6000
5	ITERADO	0.264	6.710	0.382	9.703	285.9	0.051	1.300	0.074	1.880	46.3	6000
6	ITERADO	0.272	6.910	0.393	9.992	294.2	0.059	1.500	0.085	2.169	44.0	6500
7	Referencia Racing	0.287	7.290	0.415	10.541	310.0	0.074	1.880	0.107	2.718	37.3	6500
8	Maxima Alzada	0.823	20.903	1.190	30.226	874.9	0.610	15.493	0.882	22.403	31.3	9500

## 2.4 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE DESTALONADO

Antes de definir el valor de destalonado óptimo, se deben aclarar los criterios de selección, los cuales deben ser encaminados a alcanzar los objetivos de este proyecto.

- Dado que el destalonado del árbol de levas será la única modificación para este vehículo, se debe buscar que el aumento de potencia se encuentre en el rango de 2000 RPM a 6000 RPM, pues sin otras modificaciones el motor no podrá aumentar el número de revoluciones por minuto siéndole imposible alcanzar mayores niveles de potencia por encima de este rango.
- De igual manera se debe buscar que el mayor aumento en el par se encuentre en el rango de 2000 RPM a 6000 RPM.
- Puesto que el automóvil de estudio tiene fines de uso particular y cotidiano, se debe buscar que las curvas de potencia y par tengan el menor desplazamiento

posible hacia rangos de revoluciones más altas, ya que en tal caso se verá perjudicado el rendimiento del vehículo a baja carga.

- El aumento de permanencia tanto en las válvulas de admisión como en las válvulas de escape incurre en un aumento del tiempo de traslape, momento en el cual ambas válvulas se encuentran abiertas. Un aumento excesivo de traslape se verá reflejado en un bajo rendimiento y una operación ineficiente del motor.
- Un aumento en la eficiencia volumétrica implica un aumento eficiente de potencia. Es por esto que se debe buscar el mejor aumento en la eficiencia volumétrica del cilindro.

Dicho esto, y por medio de los datos obtenidos en la tabla 2, se procedió a graficar los resultados de cada una de las simulaciones realizadas en el software Dyno2003.

Figura 27. Curvas de potencia y par torsor para árbol original

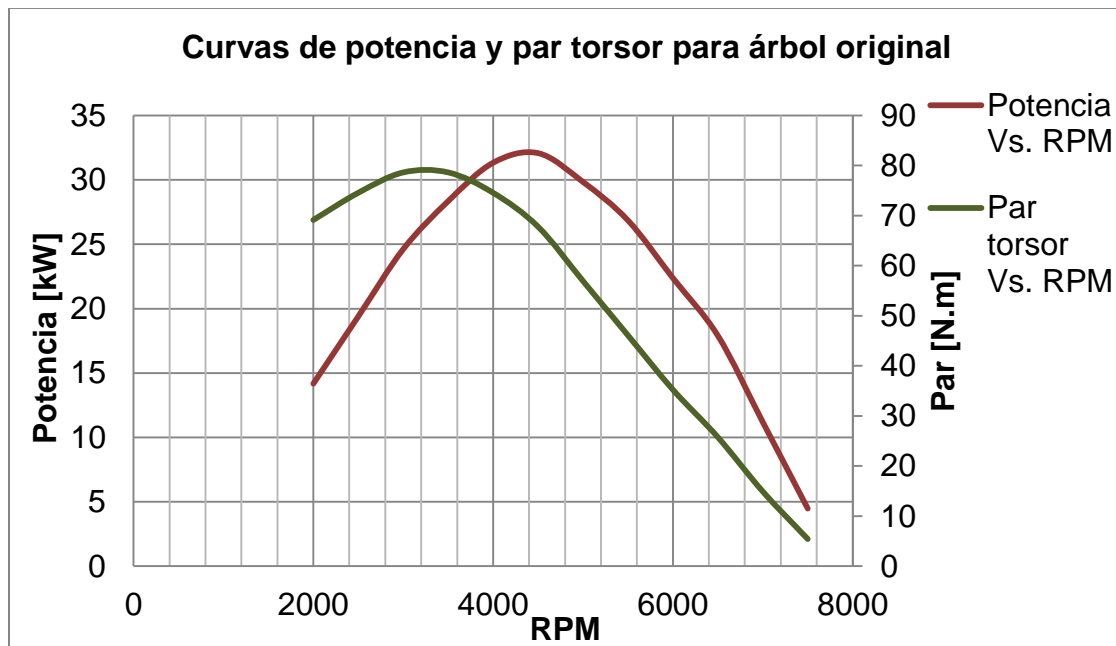
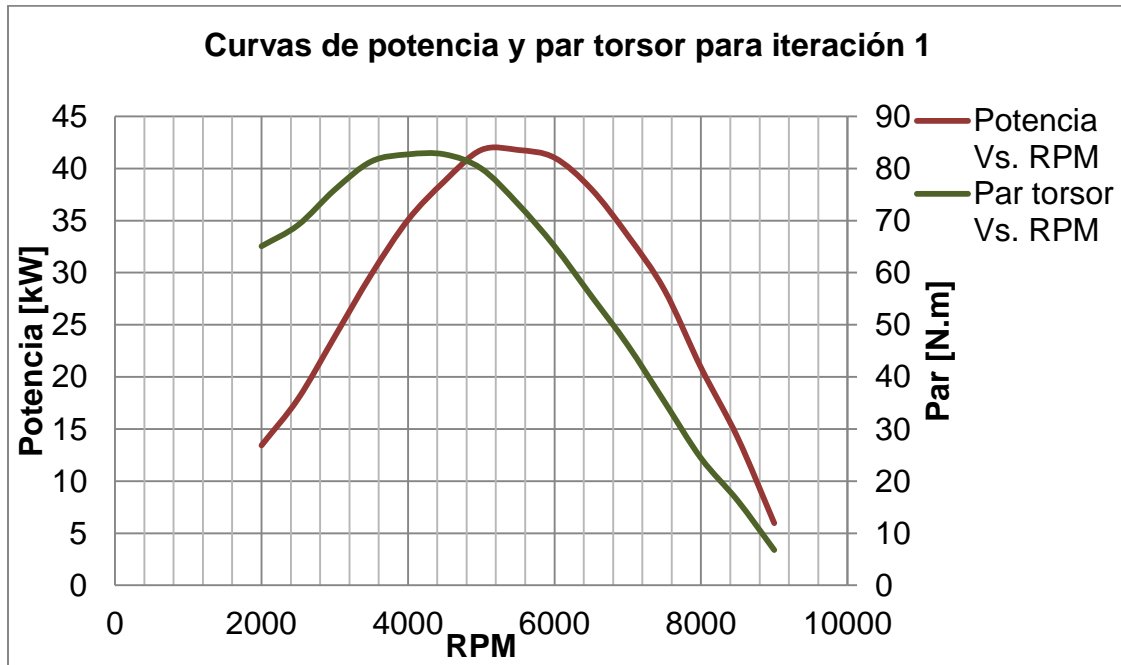


Figura 28. Curvas de potencia y par torsor para iteración 1



En la figura 28 se observan las curvas de potencia y par torsor para la primera iteración, en las cuales si se comparan con la figura 27, se infiera que ambas curvas han sufrido un desplazamiento del orden de 500 RPM. Esto quiere decir que la potencia máxima es alcanzada a las 5000 RPM, y no a las 4500 RPM como sucedía con el árbol de levas original. Igualmente sucede con el par, el cual alcanza su punto máximo a las 4000 RPM, y no a las 3500 RPM como sucedía anteriormente.

Cabe destacar en estas curvas como se mantienen sus puntos máximos durante aproximadamente 500 RPM, a diferencia de las curvas del árbol de levas original, donde la curva empezaba a decaer inmediatamente alcanzaba sus valores máximos.

Figura 29. Curvas de potencia y par torsor para iteración 2

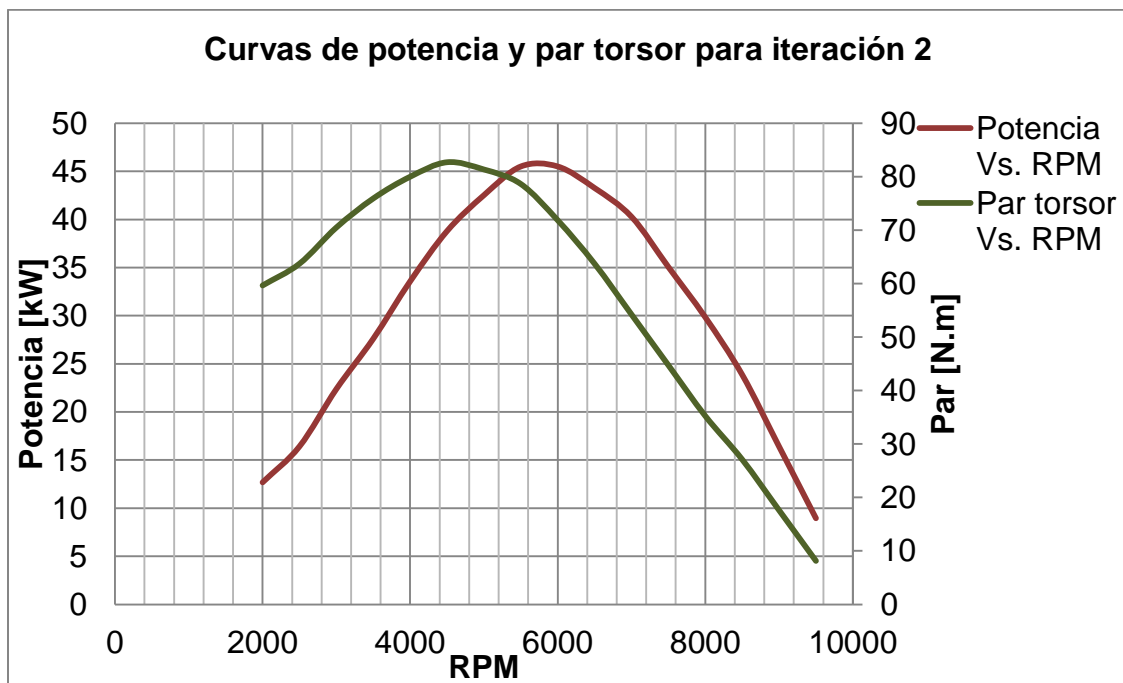
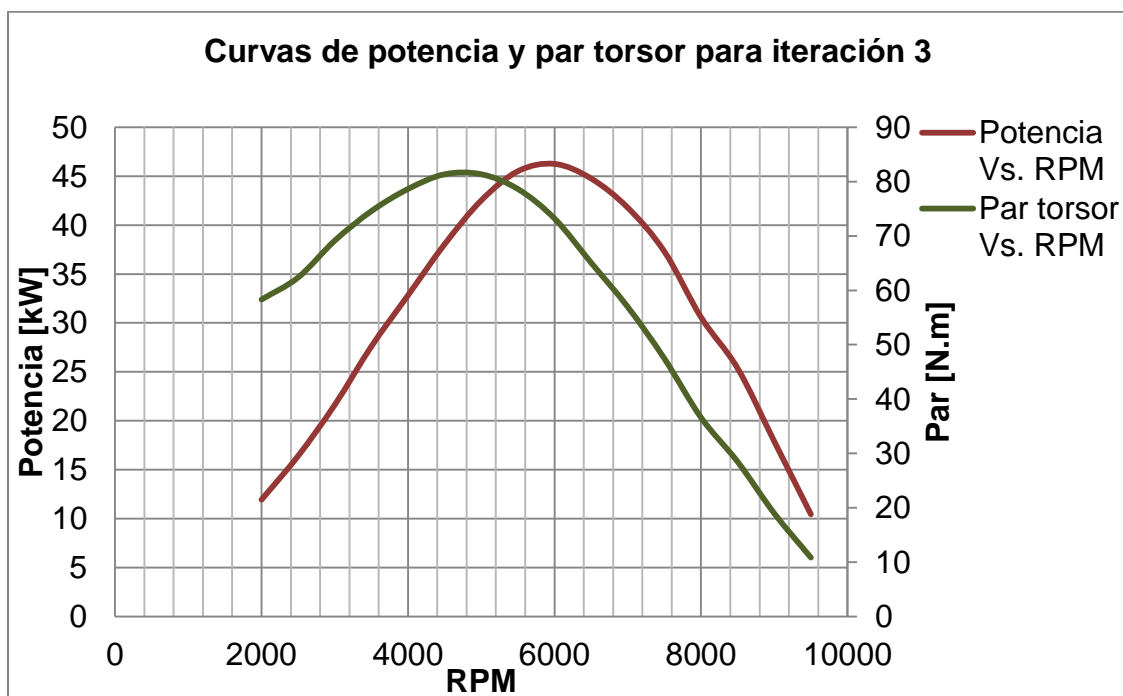


Figura 30. Curvas de potencia y par torsor para iteración 3



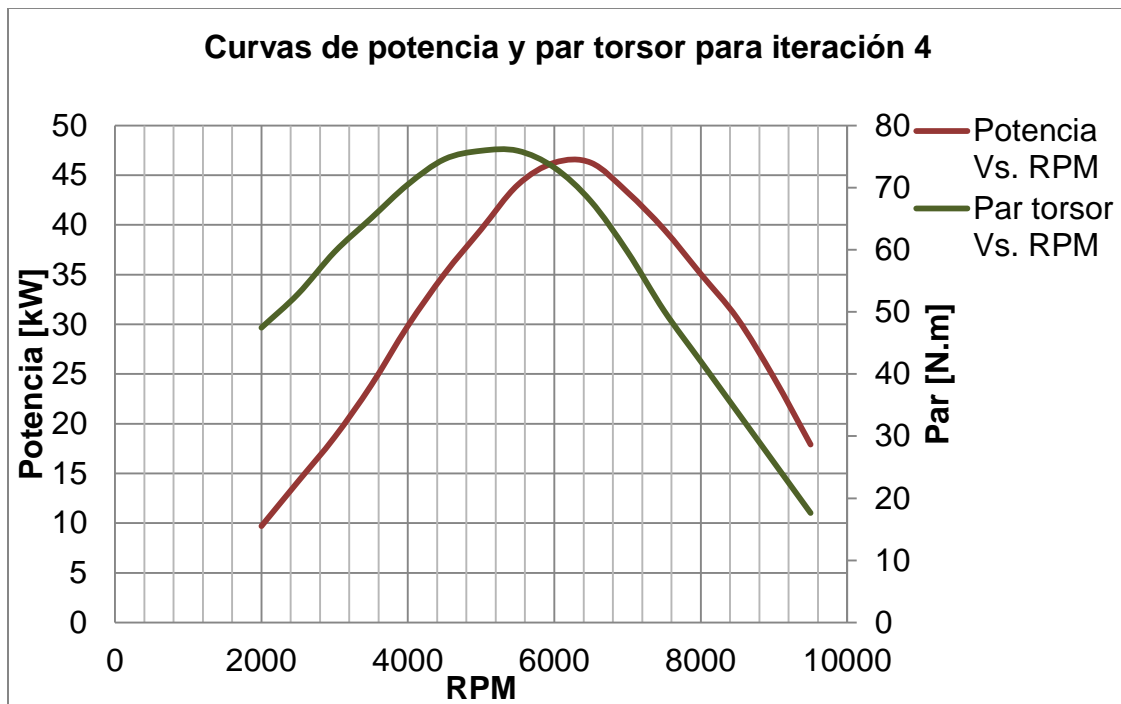


Las curvas de las figuras 29 y 30, correspondientes a las iteraciones 2 y 3 respectivamente, pueden ser comparadas entre si debido a su similitud.

En la iteración 2 se tiene una potencia máxima de 45.488 kW (61 HP) que se alcanza a 5500 RPM y se sostienen hasta 6000 RPM. En la iteración 3 se tiene una potencia máxima de 46.233 kW (62 HP) que se alcanza a 6000 RPM y posteriormente empieza decaer.

Por otra parte, el par máximo en la iteración 2 es de 83 N-m (61 lb-ft) a 4500 RPM y posteriormente empieza a decaer. Mientras que para la iteración 3 se tiene un par máximo de 60 81 N-m (lb-ft) que se alcanza a 4500 RPM y perdura hasta las 5000 RPM.

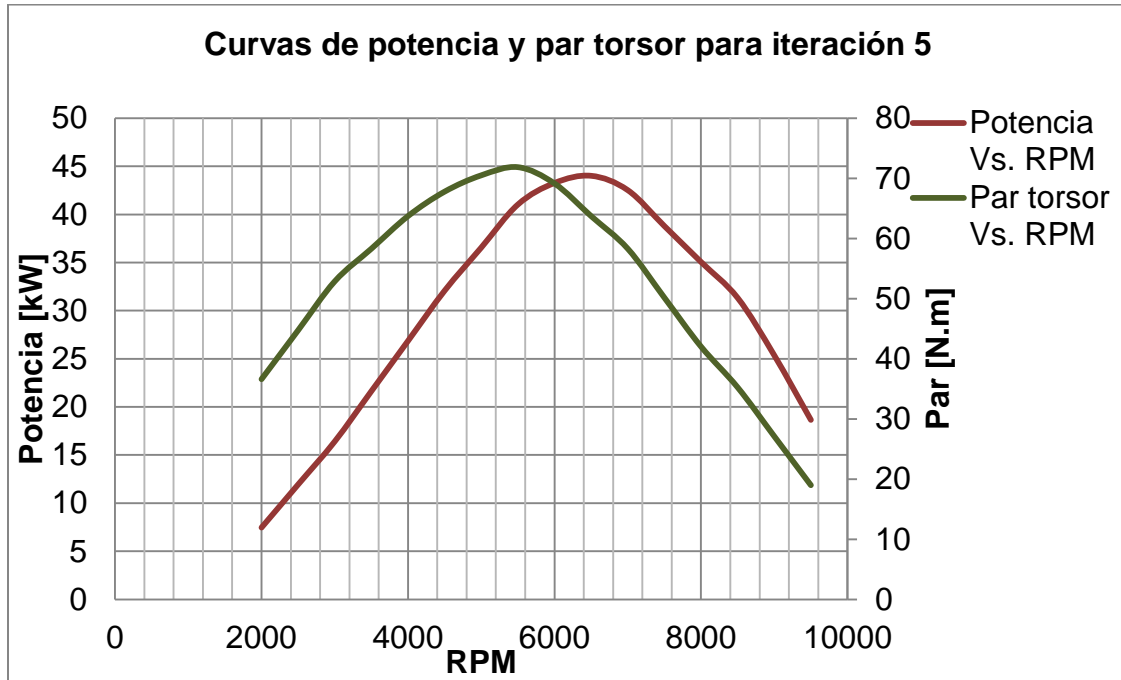
Figura 31. Curvas de potencia y par torsor para iteración 4



Si bien en la figura 31 se observa una potencia máxima de 46 kW (62 HP), correspondiente a la iteración número 4, este valor máximo se alcanzaría a partir de las 6000 RPM y hasta las 6500 RPM, régimen de giro para el cual el vehículo de estudio no está preparado para alcanzar.

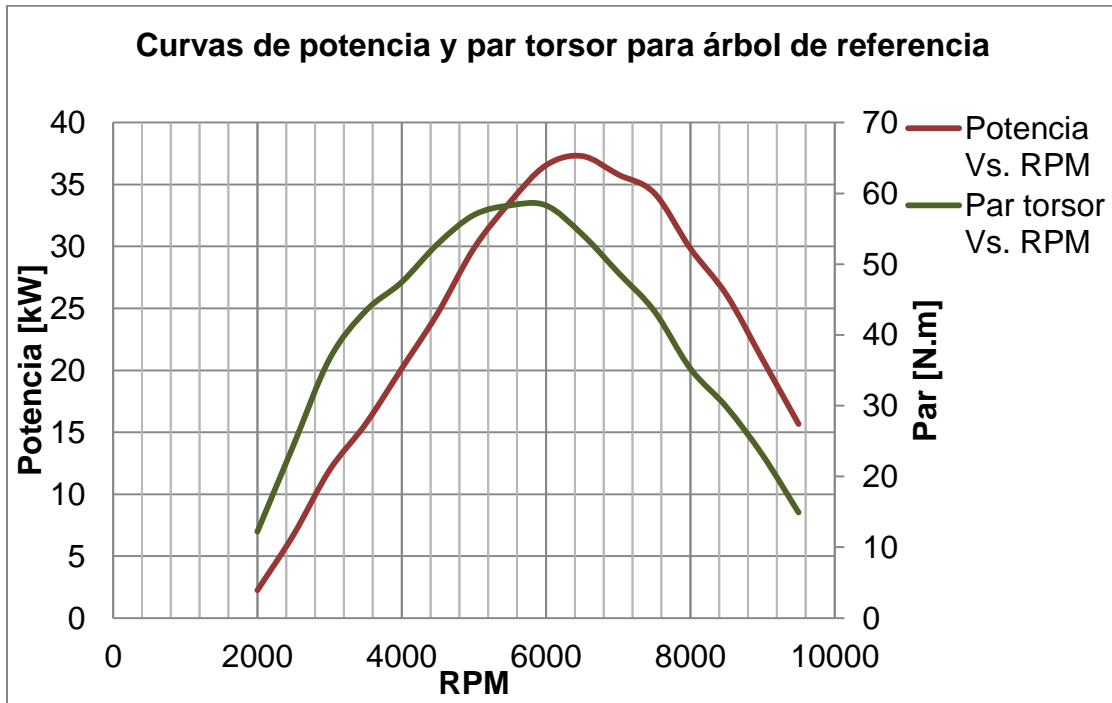
Por otra parte, es claro que el valor de par máximo es constante desde las 4500 RPM hasta las 5500 RPM, sin embargo es inferior al de los casos anteriores, donde era posible obtener 81 N-m (60 lb-ft) frente a 76 N-m (56 lb-Ft) que pueden alcanzarse para este caso.

Figura 32. Curvas de potencia y par torsor para iteración 5



De las figuras 32 y 33, que corresponden al caso de iteración número 5 y al árbol de levas de referencia, se observa claramente que los valores máximos de potencia se alcanzan por encima de 6500 RPM, lo cual supera el régimen de giro máximo del vehículo de estudio. Además, los valores máximos de par son inferiores a los obtenidos en las iteraciones 2 y 3, donde estos no solo fueron mayores, sino también en régimen giro menores.

Figura 33. Curvas de potencia y par torsor para árbol de referencia

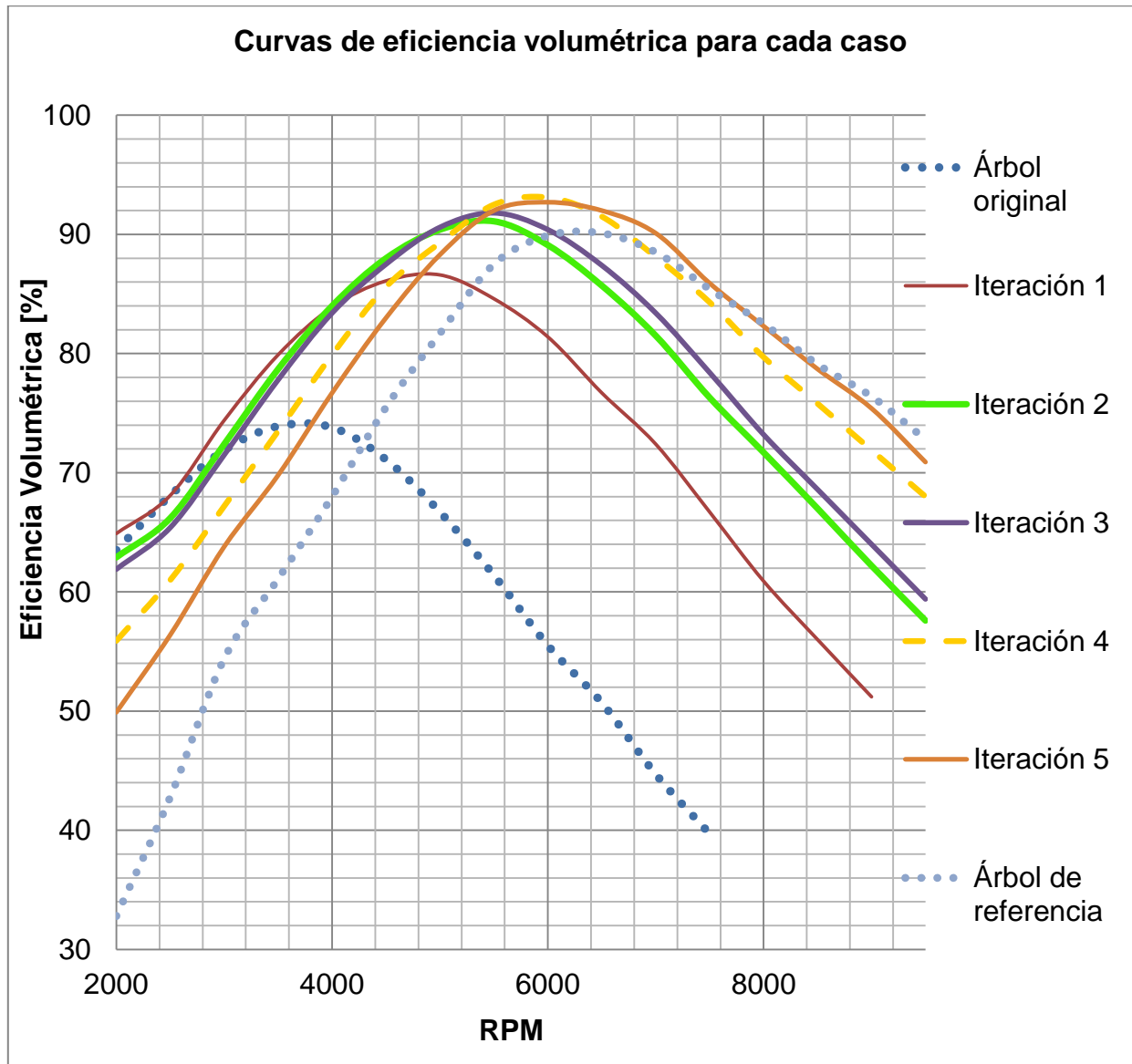


La figura 34 muestra la evolución de la eficiencia volumétrica de cada uno de los casos analizados anteriormente con respecto a las revoluciones de giro del motor.

Si bien todos los casos analizados presentan una mejora considerable en la eficiencia volumétrica con respecto al caso del árbol de levas original, la que presenta una mayor eficiencia es la iteración número 4, con un valor de 93.1 % a 6000 RPM.

Por debajo de 6000 RPM las iteraciones 2 y 3 son las que representan la mayor eficiencia volumétrica, siendo estas de 91.1 % y 91.8 % respectivamente.

Figura 34. Curvas de eficiencia volumétrica para cada caso



Luego de realizar los anteriores análisis se determinó que el desbaste óptimo para el árbol de levas era el dado por la iteración 2, dado que si bien daba una potencia levemente más baja respecto a la iteración 3, esta era alcanzada a más bajas revoluciones por minuto. Adicionalmente, el par era levemente mayor y de igual manera era alcanzado a más bajas revoluciones por minuto.

Sin embargo, la iteración 2 significaba realizar un desbaste a la leva de 0.931 mm, mientras que la iteración 3 representaba un desbaste de 1.000 mm. Por este motivo se tomó la determinación de acoger la iteración número 3 como la opción más adecuada, pues la realización del proceso de destalonado no tiene antecedentes en la región, y no existen los equipos ni el personal capacitado para realizar este tipo de desbastes, lo cual dificulta la realización de un destalonado con una precisión de 0.001 mm.

Así pues, la iteración número 3 con un desbaste de 1 mm es la opción más práctica para un proceso de destalonado.

## **2.5 DESTALONADO DEL ÁRBOL DE LEVAS**

Habiendo definido el valor a destalonar en las levas, era necesario buscar un sitio adecuado para la realización de este procedimiento. Se acudió a los talleres de metal-mecánica más representativos de la ciudad de Pereira en busca de una persona capacitada y con las herramientas necesarias para realizar el proceso.

La mayoría de estos talleres realizaban sus trabajos convencionales en tornos o máquinas rectificadoras, sin embargo estas no pueden ser usadas para realizar un proceso de destalonado debido a que el árbol debe poder ser girado de manera manual para realizar el desbaste; en máquinas como tornos o rectificadoras, la pieza gira completamente a un número determinado de revoluciones, lo que ocasionaría que la cresta de las levas en su giro chocara con la herramienta de corte, causándole daños irreversibles a la pieza.

Finalmente el señor Jairo Antonio Angarita del taller MECÁNICA INDUSTRIAL J.A.C. propuso realizar el proceso de destalonado en el taladro fresador vertical para obtener una mejor visibilidad de la herramienta de corte, y haciendo uso de un cabezal divisor con escala de giro en grados, esto para darle más exactitud al corte que se realiza.

### **2.5.1 Preparación de la máquina**

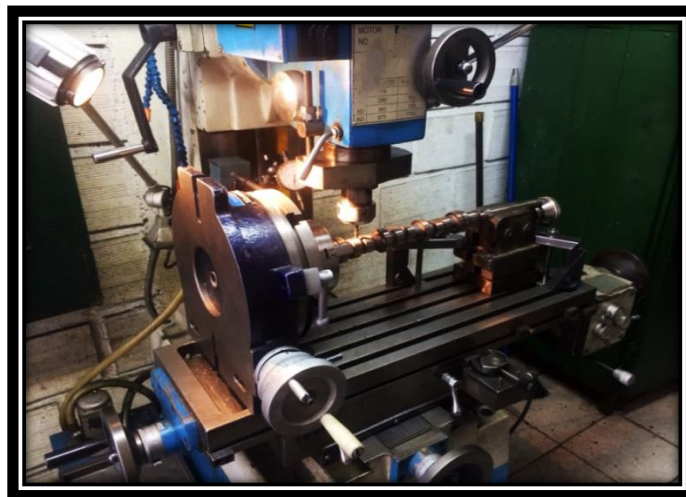
La figura 35 muestra el taladro fresador vertical y el cabezal divisor con escala en grados, los cuales fueron usados para realizar el destalonado en el árbol de levas.

Figura 35. Taladro fresador vertical



Si bien el cabezal divisor con escala de giro en grados permite sostener el árbol de levas y girarlo de forma manual grado a grado, este por si solo no le brinda el suficiente apoyo para soportar las fuerzas ejercidas por la herramienta de corte, por la que se hace necesario colocar una contra punta que le de firmeza al montaje, el cual se muestra en la figura 36.

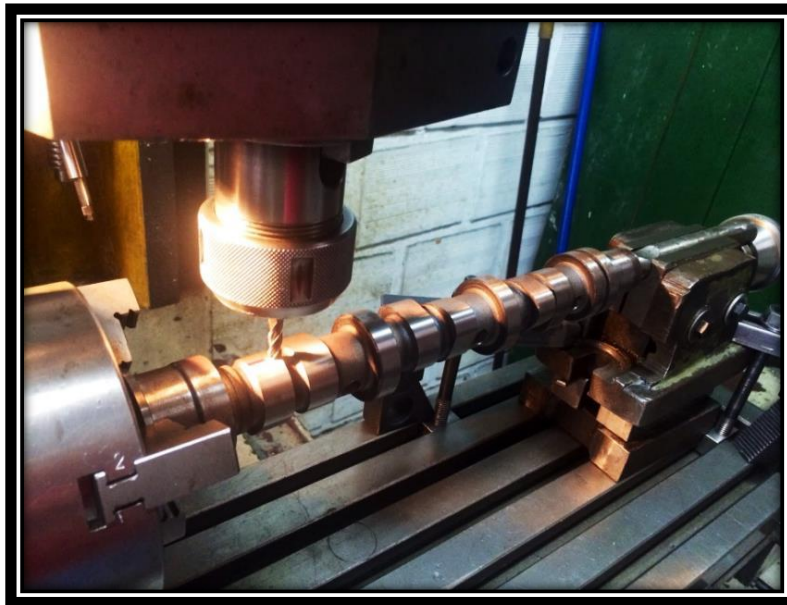
Figura 36. Árbol de levas entre cabezal divisor y contrapunta



### 2.5.2 Desbaste, pulido y limpieza del árbol

Antes de iniciar el proceso de desbaste, se debió tomar un punto de referencia sobre cada leva, y de esta manera poder posicionar el árbol con precisión según los grados indicados en el cabezal divisor. Se tomó pues como referencia o punto cero el lado opuesto al punto más alto de la cresta de la leva, tal como se observa en la figura 37.

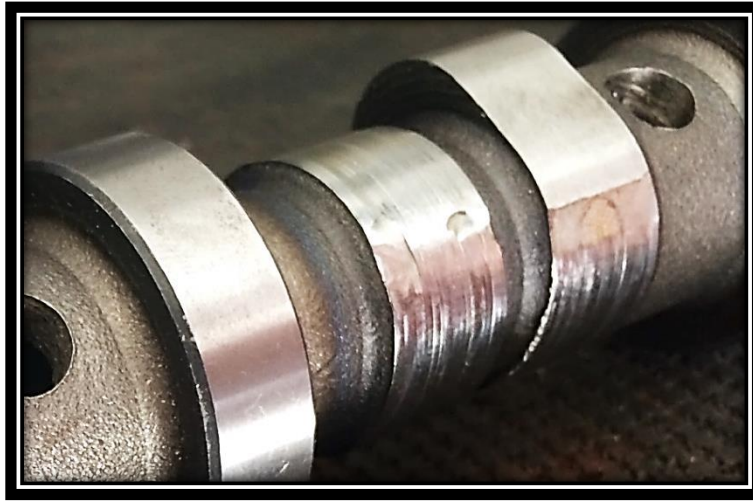
Figura 37. Marcación del punto de referencia para cada leva



Los desbastes de la leva 1 y 2 se realizaron de acuerdo a lo esperado, sin embargo cuando se estaba haciendo el desbaste de la leva 3, la contrapunta que sostenía el árbol no resistió los esfuerzos, desplazándose de su sitio de anclaje inicial, lo que ocasionó que la herramienta alcanzara a golpear y tallar levemente la leva. Este se observa con más claridad en la figura 38.

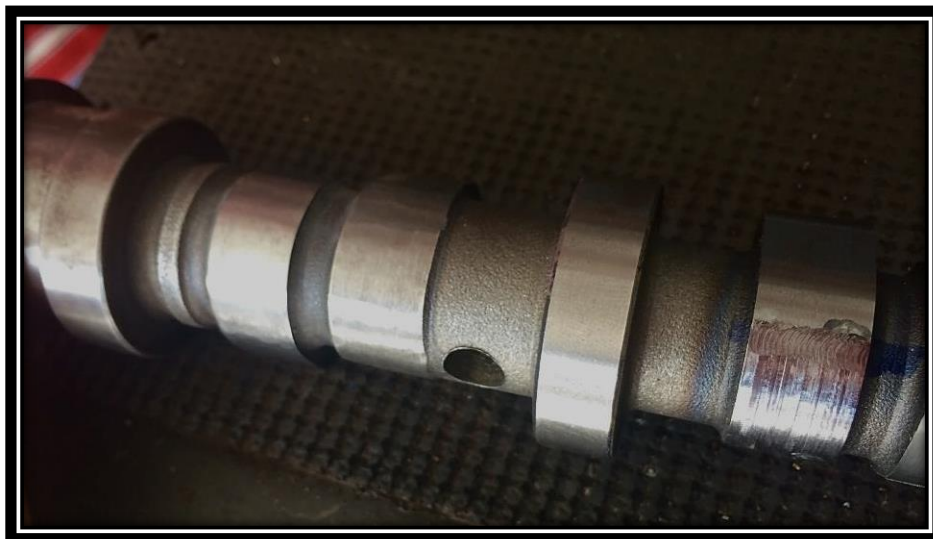
Aunque el accidente en la leva ocurrió en la misma zona de desbaste, y es aparentemente superficial, esta podría verse reflejada en la gráfica de perfil de leva.

Figura 38. Accidente en desbaste de leva



Luego de hacer el desbaste en las 6 levas se presentaba un reborde de material, el cual se observa con más facilidad en el extremo derecho de la figura 39, para lo cual se hizo un emparejamiento de la superficie con ayuda de un esmeril, y posteriormente se pasó lijar la superficie con papel-lija N° 1000, buscando uniformidad en la superficie de la pieza y que el seguidor en su recorrido no presentase sobresaltos bruscos.

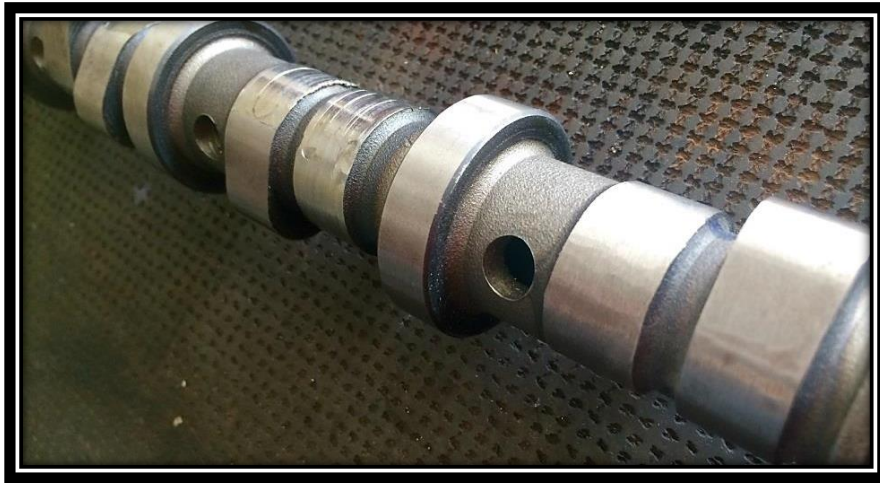
Figura 39. Reborde de material posterior al desbaste





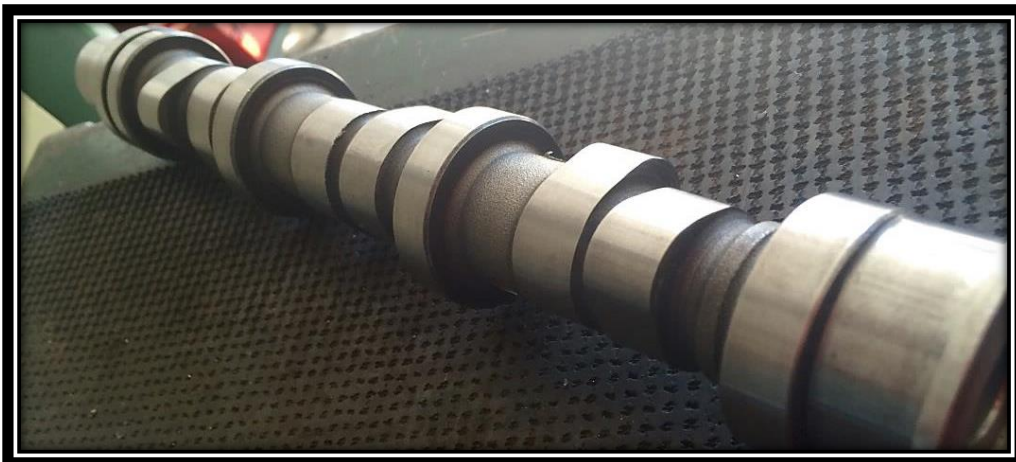
A continuación se observan las diferencias entre las levas del extremo derecho de la figura 40 que ya se encuentra lijadas con las otras levas del centro, las cuales solo tienen el trabajo de desbaste.

Figura 40. Levas 1 y 2 lijadas



En la figura 41 se puede observar que luego de haber emparejado las superficies de todas las levas, eliminar los rebordes y pulir las superficies con la lija, el árbol quedo listo para ser instalado en el motor y ser puesto a prueba.

Figura 41. Pulimiento del árbol de levas terminado



## 2.6 IMPLEMENTACIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS MODIFICADO

Con el nuevo árbol de levas ya destalonado, pulido y limpio se procedió a realizar el montaje de este en el vehículo de prueba. Para esto es necesario retirar el árbol de levas original que se encuentra instalado en el motor.

### 2.6.1 Retirar el árbol de levas original

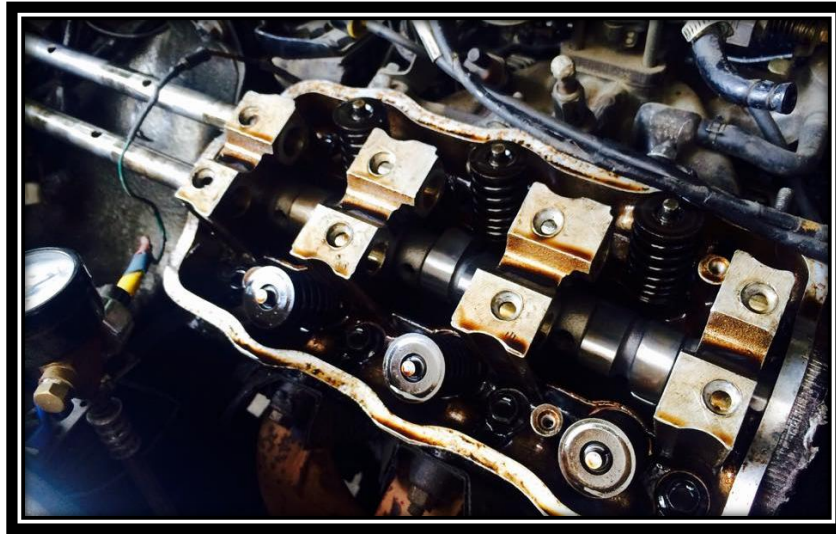
Para retirar el árbol de levas original se debe iniciar por desacoplar el filtro de aire y quitar la tapa de válvulas. El distribuidor debe ser igualmente retirado para un mejor acceso a la culata del motor, tal como se muestra en la figura 42.

Figura 42. Tapa válvulas y filtro retirados



La correa de repartición y la polea también se deben desacoplar para permitir que el árbol de levas salga con facilidad. Además de esto, en la figura 43 también se observa cómo se retiran las dos flautas de balancines, que son los ejes encargados de permitir el movimiento de los balancines.

Figura 43. Flauta de balancines retiradas



El árbol de levas debe ser retirado por el extremo derecho de la culata, justo donde acopla el distribuidor. Debe prestarse especial atención a la bomba distribuidora de combustible, pues en ocasiones se hace necesario quitarla ya que no permite que el árbol de levas sea extraído suavemente.

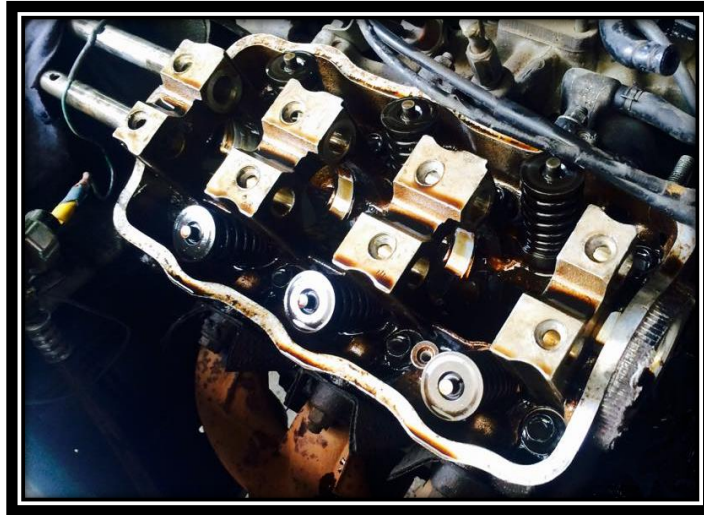
Figura 44. Árbol de levas original, balancines y resortes





Con el árbol de levas, los balancines y los resortes ya extraídos y mostrados en la figura 44, la culata del motor se encuentra lista para recibir el nuevo árbol de levas ya destalonado, como se observa en la figura 45.

Figura 45.Culata del motor sin árbol de levas

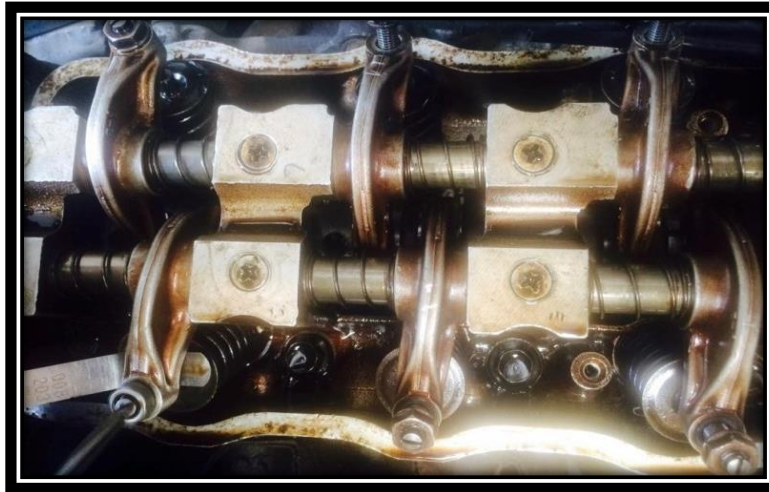


### **2.6.2 Instalación del árbol de levas destalonado**

La instalación del nuevo árbol de levas destalonado, luego de haber retirado el árbol de levas original, es bastante sencilla. Al igual que para la extracción, el árbol se introduce justo por el lugar en que se acopla el distribuidor. Se vuelven a introducir las flautas de balancines, teniendo presente el orden en que estos se colocan junto con sus respectivos resortes.

Con el árbol de levas modificado, las flautas de balancines, los balancines y resortes ya instalados, se procedió a realizar la respectiva calibración de válvulas, tal como se observa en la figura 46.

Figura 46. Calibración final de válvulas



Finalmente se volvieron a instalar la tapa de válvulas, el distribuidor y el filtro de aire. Se encendió el vehículo para verificar que todo estuviese funcionando correctamente y sin presentar ninguna anomalía.

## **2.7 MEDICIÓN FINAL DE POTENCIA**

La medición final de potencia se realizó usando el nuevo árbol de levas, previamente destalonado, en el motor del vehículo de prueba para este proyecto.

El procedimiento para ejecutar la medición final de potencia se realizó al igual que en el numeral 2.1, donde se detalló cómo se llevó a cabo la medición inicial de potencia para el vehículo de estudio usando el árbol de levas original.

### **2.7.1 Montaje del vehículo en el dinamómetro**

El proceso de montaje del automóvil de estudio al dinamómetro se llevó a cabo siguiendo el documento “Manual N°23. Montaje del automóvil a dinamómetro DynaPack” <sup>[5]</sup>.

Al igual que en el numeral 2.1.1, la figura 47 muestra el vehículo de estudio en el LPDA antes de iniciar las pruebas finales de potencia, donde se verificó que no existieran anomalías en la operación del vehículo, y que sus niveles de aceite y líquido refrigerante del motor se encontraran en los niveles recomendados por el fabricante.

Figura 47. Alistamiento del vehículo para la medición final de potencia



### 2.7.2 Alistamiento y verificación de las características del vehículo

El software del dinamómetro de cubos DynaPack requiere que se completen todos los campos referentes a las especificaciones técnicas del automóvil, los cuales como se expresó anteriormente en el numeral 2.1.2, se encuentran en el documento “Manual N° 15. Prueba de potencia en dinamómetro DynaPack” <sup>[6]</sup>.

Sin embargo, la relación de transmisión, o Drive Ratio en inglés como se denomina en el software, ya fue hallada anteriormente durante la medición de potencia inicial, y puesto que este valor se mantiene constante, no es necesario volverla a calcular. La relación de transmisión se toma entonces como 4.223.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.1 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN INICIAL DE POTENCIA

La prueba de potencia inicial se aplicó al vehículo de prueba destinado para este proyecto, Chevrolet Sprint 1988 carburado, usando su respectivo árbol de levas original.

Para esta medición se realizaron seis pasadas, las cuales se registran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados medición de potencia con árbol original

Resultados sin corrección prueba 1				Árbol original		
Pasada N°	Potencia máxima [kW]	Régimen máxima potencia [RPM]	Régimen máxima potencia [RPM x 100]	Par máximo [N.m]	Régimen máximo par [RPM]	Régimen máximo par [RPM x 100]
1	15.59	4305	43.05	191.17	1513	15.13
2	15.89	4285	42.85	189.68	1507	15.07
3	15.44	4208	42.08	186.42	1513	15.13
4	15.29	4295	42.95	180.05	1517	15.17
5	15.14	4383	43.83	178.97	2439	24.39
6	15.22	4404	44.04	189.27	1501	15.01
<b>Media</b>	<b>15.43</b>	<b>4313</b>	<b>43.13</b>	<b>185.93</b>	<b>1665</b>	<b>16.65</b>

El software del dinamómetro DynaPack también permite obtener los resultados aplicando las correcciones necesarias según la norma SAE J1349, los cuales se observan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados con SAE J1349 de medición de potencia con árbol original

Resultados con SAE J1349 prueba 1				Árbol original		
Pasada N°	Potencia máxima [kW]	Régimen máxima potencia [RPM]	Régimen máxima potencia [RPM x 100]	Par máximo [N.m]	Régimen máximo par [RPM]	Régimen máximo par [RPM x 100]
1	18.28	4305	43.05	223.98	1513	15.13
2	18.58	4285	42.85	222.35	1507	15.07
3	18.13	4208	42.08	218.42	1513	15.13
4	17.90	4295	42.95	211.10	1517	15.17
5	17.75	4383	43.83	209.74	2439	24.39
6	17.90	4404	44.04	222.08	1501	15.01
<b>Media</b>	<b>18.09</b>	<b>4313</b>	<b>43.13</b>	<b>217.94</b>	<b>1665</b>	<b>16.65</b>

### 3.2 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN FINAL DE POTENCIA

Las pruebas finales de potencia se aplicaron igualmente al vehículo de prueba luego de haber realizado la instalación del árbol de levas destalonado sobre este.

Para este caso se realizaron también seis pasadas, de las cuales se evidencian sus datos obtenidos a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados medición de potencia con árbol destalonado

Resultados sin corrección prueba 2				Árbol destalonado		
Pasada N°	Potencia máxima [kW]	Régimen máxima potencia [RPM]	Régimen máxima potencia [RPM x 100]	Par máximo [N.m]	Régimen máximo par [RPM]	Régimen máximo par [RPM x 100]
1	16.71	4523	45.23	177.34	3435	34.35
2	16.79	4338	43.38	176.53	3456	34.56
3	16.64	4414	44.14	172.59	3544	35.44
4	16.79	4251	42.51	177.75	3413	34.13
5	17.01	4349	43.49	178.42	3414	34.14
6	17.08	4370	43.7	178.97	3534	35.34
<b>Media</b>	<b>16.83</b>	<b>4374</b>	<b>43.74</b>	<b>176.93</b>	<b>3466</b>	<b>34.66</b>



Al igual que en el numeral anterior, se obtienen los resultados corregidos de esta medición bajo la norma SAE J1349, los cuales son arrojados por el software del dinamómetro DynaPack y se encuentran contenidos en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados con SAE J1349 de medición de potencia con árbol destalonado

Resultados con SAE J1349 prueba 2				Árbol destalonado		
Pasada N°	Potencia máxima [kW]	Régimen máxima potencia [RPM]	Régimen máxima potencia [RPM x 100]	Par máximo [N.m]	Régimen máximo par [RPM]	Régimen máximo par [RPM x 100]
1	19.84	4523	45.23	210.15	3435	34.35
2	19.92	4338	43.38	209.06	3456	34.56
3	19.77	4414	44.14	204.59	3544	35.44
4	19.84	4251	42.51	210.69	3413	34.13
5	20.22	4349	43.49	211.50	3414	34.14
6	20.22	4370	43.70	212.05	3534	35.34
<b>Media</b>	<b>19.97</b>	<b>4374</b>	<b>43.74</b>	<b>209.67</b>	<b>3466</b>	<b>34.66</b>

### 3.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado general de este proyecto es básicamente la comparación de los resultados de las mediciones iniciales y finales de potencia, las cuales fueron con el árbol de levas original y con el árbol de levas destalonado, respectivamente.

Cabe aclarar que además de realizar un destalonado de 1 mm sobre un árbol de levas idéntico al original, no se realizó ninguna otra modificación en el vehículo que pudiese modificar en alguna medida los resultados obtenidos.

En la tabla 7 se muestran los resultados de ambas mediciones sin correcciones y la desviación estándar para cada una.

Tabla 7. Verificación de resultados para mediciones de potencia

Verificación de resultados		
Pasada N°	Árbol Original	Árbol destalonado
1	15.59	16.71
2	15.89	16.79
3	15.44	16.64
4	15.29	16.79
5	15.14	17.01
6	15.22	17.08
<b>Media</b>	<b>15.4</b>	<b>16.8</b>
Desviación estandar	0.28	0.17
Límite inferior	15.14	16.65
Límite superior	15.72	17.02
<b>Coefficiente de variación (&gt;1%)</b>	<b>1.79%</b>	<b>1.04%</b>

Según el DANE, “Se suele considerar que el resultado de una estimación es bueno si su coeficiente de variación es menor del 5 %; aceptablemente práctico, entre el 5 % y el 10%; de baja precisión si es mayor del 10 % y menor del 15%, y no útil si es mayor del 15%” [7]. Por lo tanto, dado que los valores obtenidos se encuentran en el orden de 1 % a 2 %, se puede deducir que la variabilidad de las mediciones realizadas es mínima.

Por lo tanto los valores obtenidos de coeficiente de variación son tomados como aceptables para el proceso de medición.

Las figuras 48 y 49 muestran en un gráfico de barras los valores de potencia máxima y el régimen de giro al cual fueron alcanzadas. En otras palabras, la potencia máxima alcanzada usando el árbol de levas original es de 15.4 kW (20.7 HP) a 4313 RPM para las mediciones sin corrección. Si se aplica la SAE J1349 se tiene que la potencia máxima es de 18.1 kW (24.3 HP) a 4313 RPM.

Usando el árbol de levas destalonado, la potencia máxima obtenida sin correcciones es de 16.8 kW (22.6 HP) a 4374 RPM. Por otra parte, si se aplican la norma SAE J1349, la potencia máxima es de 20.0 kW (26.8 HP) a 4374 RPM.

Figura 48. Gráfico de potencia máxima y régimen máximo de potencia

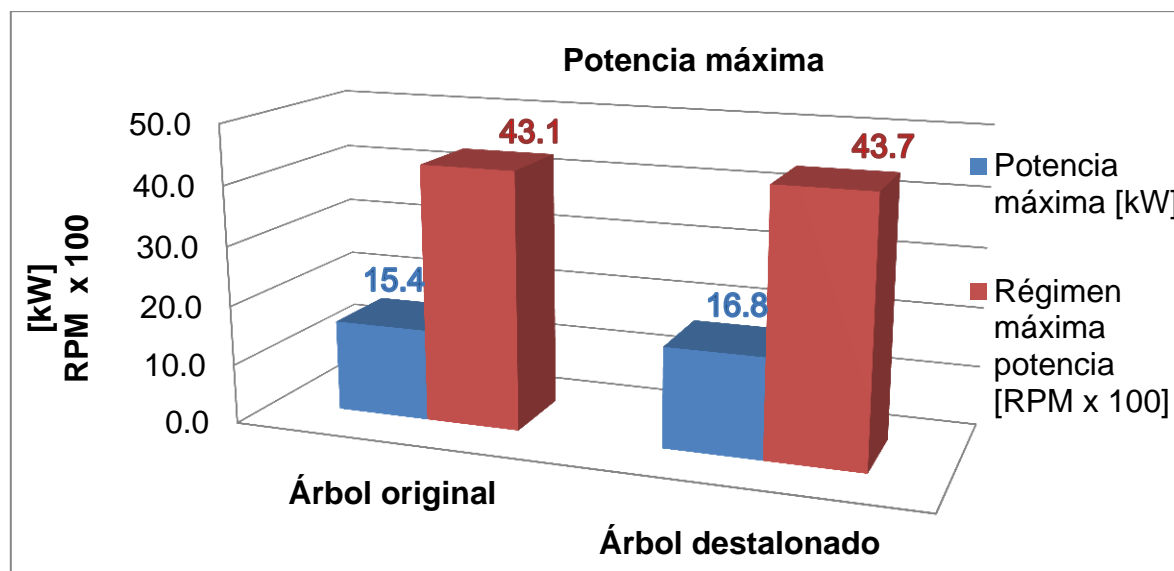


Figura 49. Gráfico de potencia máxima y régimen máximo de potencia con corrección SAE J1349

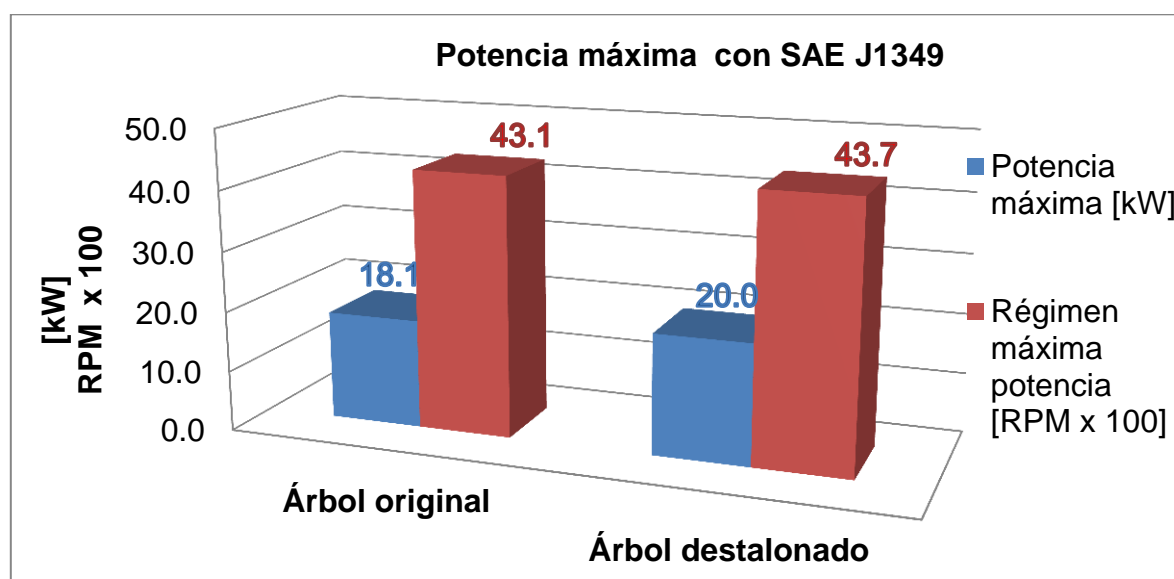


Figura 50. Gráfico de par máximo y régimen máximo de par

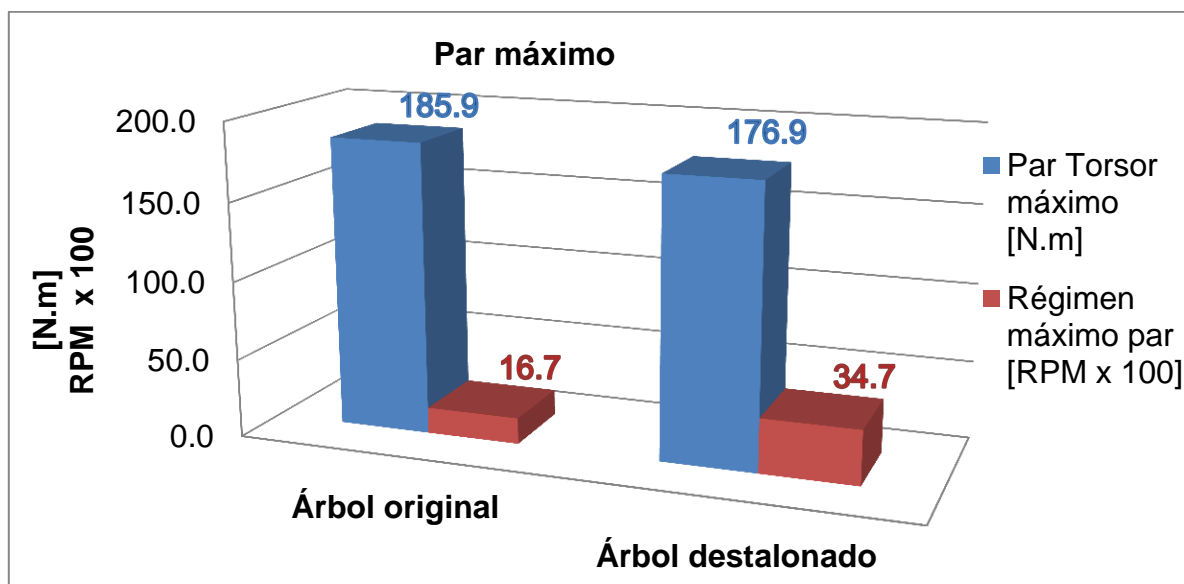
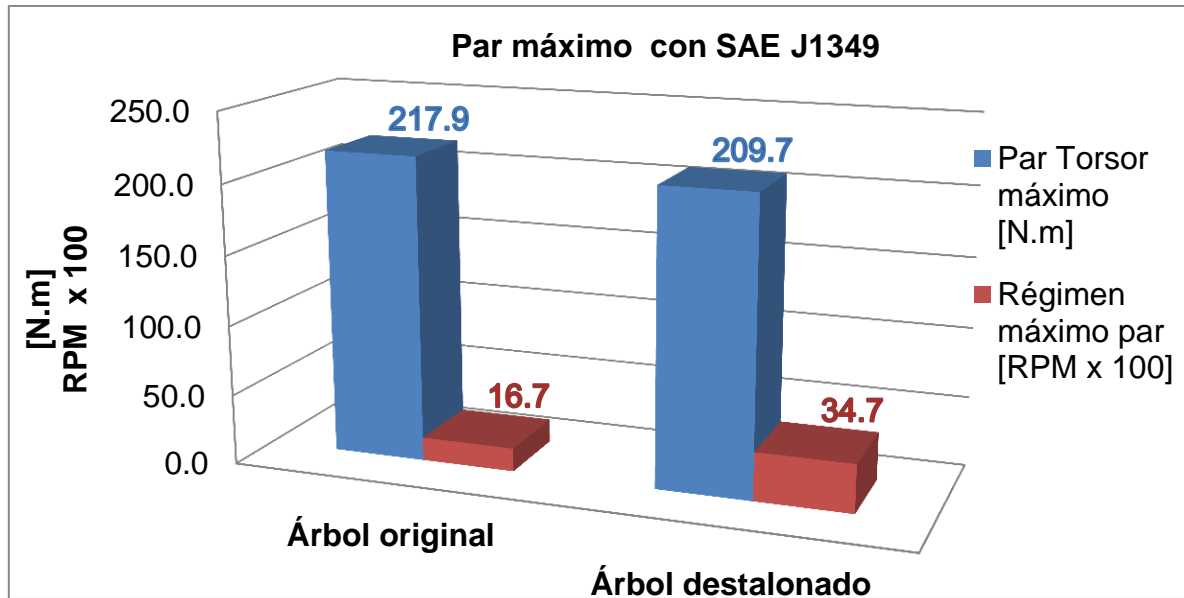


Figura 51. Gráfico de par máximo y régimen máximo de par con corrección SAE J1349



Las figuras 50 y 51 por su parte, son gráficos de barras de los valores de par máximo y el régimen de giro al cual fueron alcanzados, tanto en la medición con el

árbol de levas original como en la medición realizada con el árbol de levas destalonado.

En otras palabras, el par máximo alcanzado usando el árbol de levas original es de 185.9 N-m (137.1 lb-ft) a 1665 RPM para las mediciones sin corrección. Aplicando las correcciones de la SAE J1349 se tiene que el par máximo alcanzado es de 217.9 N-m (160.8 lb-ft) a 1665 RPM.

Usando el árbol de levas destalonado, el par máximo alcanzado sin correcciones es de 176.9 N-m (130.5 lb-ft) a 3466 RPM. Por otra parte, si se aplican la norma SAE J1349, el par máximo alcanzado es de 209.7 N-m (154.7 lb-ft) a 3466 RPM.

Las gráficas que se observan en las figuras 52 y 53 muestran la evolución de las curvas de potencia de acuerdo al régimen de giro del motor, tanto para los datos sin corrección como para aquellos a los cuales se aplicó la SAE J1349.

Figura 52. Gráfico de potencia Vs. RPM sin correcciones

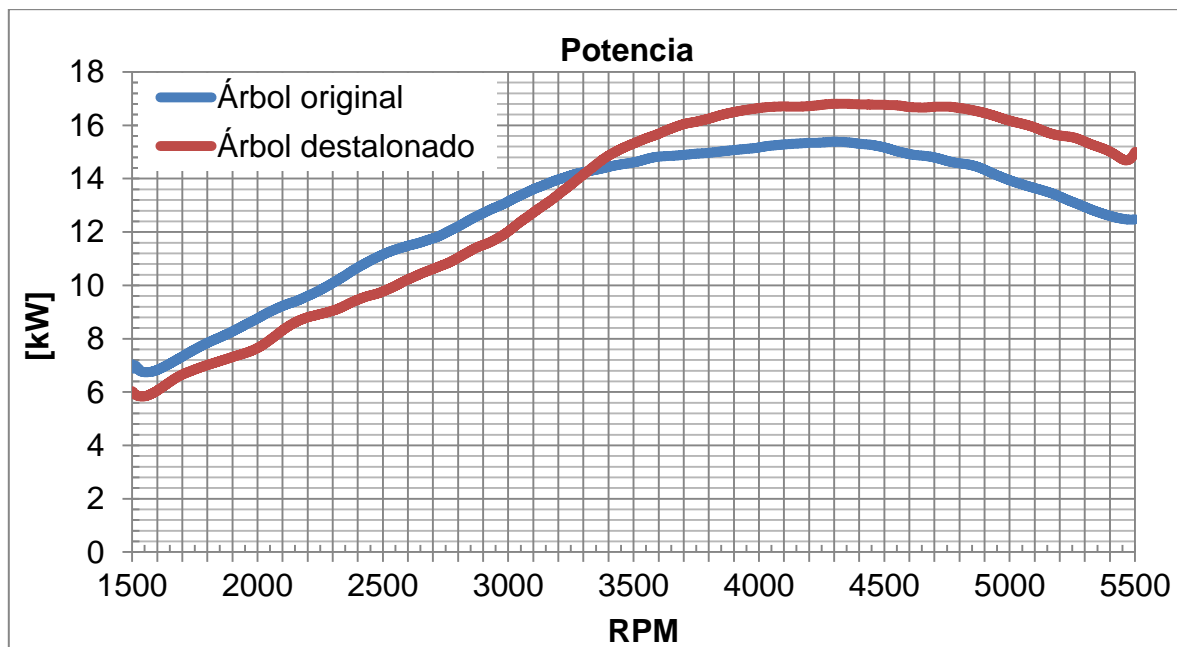


Figura 53. Gráfico de potencia Vs. RPM con SAE J1349

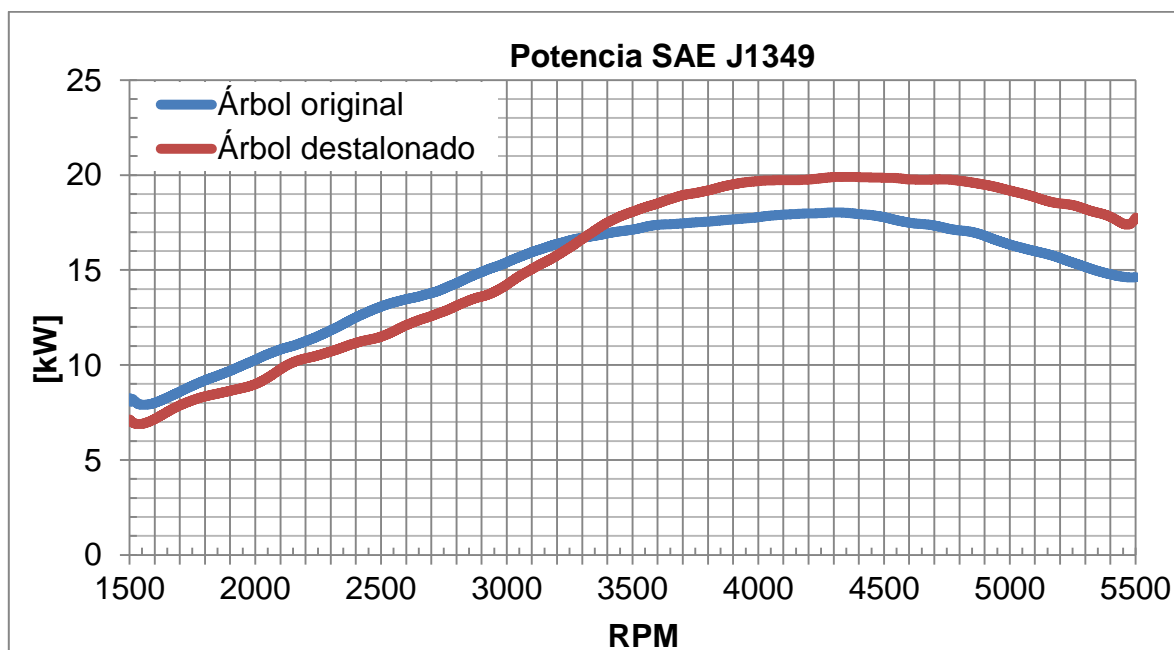
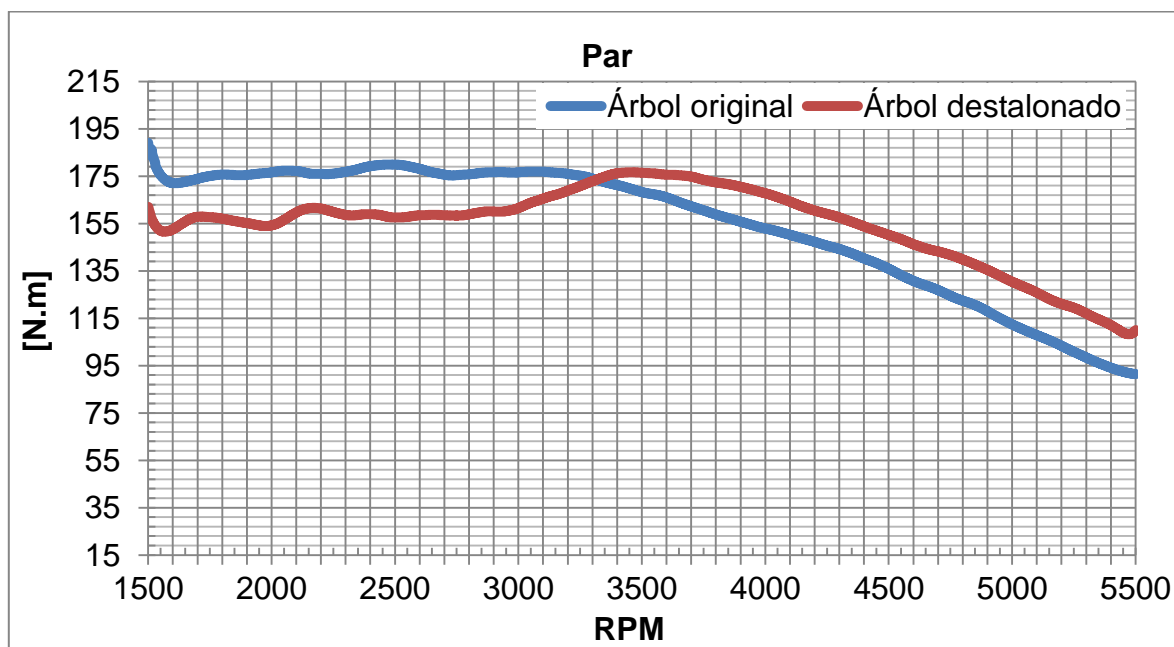
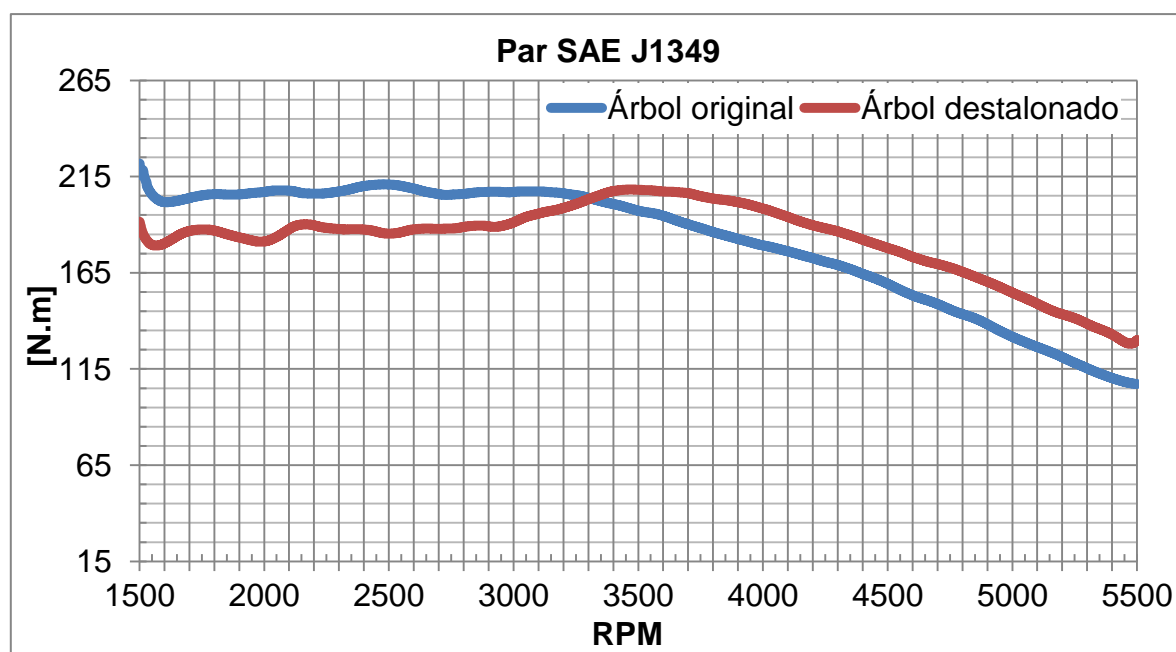


Figura 54. Gráfico de par Vs. RPM sin correcciones



En las figuras 54 y 55 se puede observar el comportamiento de las curvas del par de acuerdo al régimen de giro del motor, tanto para los datos sin corrección como para aquellos a los cuales se aplicó la SAE J1349.

Figura 55. Gráfico de par Vs. RPM con SAE J1349



Es evidente que a baja carga se presenta una pérdida tanto de potencia como de par con el uso del árbol de levas destalonado. Sin embargo en el rango de 3000 RPM a 3500 RPM, las curvas que representan el árbol de levas original y el árbol de levas destalonado se empiezan a acercar, dado el aumento significativo tanto de la potencia como del par en este régimen de giro, para los caso del uso del árbol de levas destalonado, y de la inevitable caída de las curvas de potencia y par cuando se usa el árbol de levas original.

## **4. CONCLUSIONES**

- 1.** La potencia máxima para un vehículo Chevrolet Sprint 1988 carburado en estado Original es de 18.1 kW (24.3 HP) a 4313 RPM aplicando la norma SAE J1349.
- 2.** El dimensionamiento del árbol de levas permitió definir que el árbol de levas original para un vehículo Chevrolet Sprint cuenta con una alzada máxima para la leva de admisión de 5.410 mm, una alzada máxima para la leva de escape de 5.588 mm, una permanencia para la válvula de admisión de 232°, una permanencia para la válvula de escape de 234°, una alzada máxima para la válvula de admisión de 7.823 mm y una alzada máxima para la válvula de escape de 7.798 mm.
- 3.** El conocimiento previo de las dimensiones del árbol de levas original permitió realizar iteraciones a partir de este para hallar posibles valores de destalonado, que permitiesen obtener mayores alzadas de válvula y un aumento en la potencia máxima. Sin embargo, los valores de permanencia no fueron relacionados directamente, sino que fueron aproximados por medio de interpolación.
- 4.** En las simulaciones realizadas en el software Dyno2003 era posible variar no solo las características del árbol de levas, sino también el sistema de admisión y escape, los cuales si no se conocen son asumidos por el programa, aportando una cuota de incertidumbre al análisis.
- 5.** Mediante la simulación de los posibles valores de destalonado y el análisis de las curvas de potencia, par y eficiencia volumétrica de estos, se determinó que un valor de destalonado de 1 mm era el adecuado, ya que permite una mayor alzada, una mejor eficiencia volumétrica y por ende un aumento en la potencia máxima simulada.
- 6.** Si bien la realización del proceso de destalonado fue posible usando un taladro fresador vertical, es claro que esta no es la herramienta adecuada, ni tampoco lo son el uso de esmeril y lijas para emparejar la superficie de la pieza. El uso de estas herramientas permitió realizar el destalonado de 1 mm sobre las levas, pero



no la precisión y la homogeneidad en cada una de estas superficies, siendo la permanencia la característica más afectada en este proceso.

**7.** La implementación del árbol de levas fue posible gracias al acompañamiento de personas capacitadas, con amplios conocimientos de mecánica automotriz y con la herramienta adecuada para ello, donde la calibración de las válvulas jugó un papel crucial en el buen funcionamiento del motor y la influencia del árbol de levas destalonado sobre este.

**8.** La potencia máxima para un vehículo Chevrolet Sprint 1988 carburado usando un árbol de levas con un destalonado de 1 mm es de 20.0 kW (26.8 HP) a 4313 RPM aplicando la norma SAE J1349. Esto representa un aumento en la potencia máxima de 9.07 % con respecto a la potencia máxima del vehículo usando el árbol de levas original.

## **5. RECOMENDACIONES**

- 1.** Conocer todos los datos relacionados al sistema de admisión y escape permitirá obtener simulaciones en el software Dyno2003 con una menor incertidumbre, dado que serán menos los datos asumidos por el programa.
- 2.** Se debe tener en cuenta que el cálculo de un destalonado tiene relación directa con la alzada que puede tener la válvula, pero esta relación no se mantiene para la permanencia de esta, ya que la afectación que pueda llegar a tener la permanencia por cuenta del destalonado depende de la forma y el método por el cual se lleve a cabo el desbaste de material.
- 3.** Se recomienda el uso de herramientas de corte más adecuadas para la realización del proceso de destalonado, pues de estas depende la variación de la permanencia, especialmente en las zonas donde el perfil de la leva se une con el círculo base.
- 4.** Se recomienda prestar especial atención a la calibración de las válvulas, pues esta debe mantenerse bajo las recomendaciones del fabricante durante todo el proceso, pues afecta desde el dimensionamiento del árbol de levas original hasta el buen funcionamiento del motor, lo cual también incurre en la alteración de las mediciones de potencia.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] SAMANIEGO FLOR, Geovanny F. y SAMANIEGO FLOR, Carlos P. Comparación de las características de eficiencia de un motor Suzuki Forsa G10 SOHC al variar secuencialmente elementos posibles de trucaje para competición a través de un banco de pruebas. Latacunga, 2006. Trabajo de grado (Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz). Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería Automotriz
- [2] VICENTE, Miguel de Castro. Trucaje de motores de 4 tiempos. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1995.
- [3] PELLEGRINI, Humberto. Notas de clase: Preparación de motores atmosféricos y sobrealimentados. La Plata, 2006.
- [4] GILLIERI, Stefano. Preparación de motores de serie para competición. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1997.
- [5] Manual N°23. Montaje del automóvil a dinamómetro DynaPack. Laboratorio de pruebas dinámicas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [6] Manual N° 15. Prueba de potencia en dinamómetro DynaPack. Laboratorio de pruebas dinámicas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [7] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. Metodología diseño muestral. Encuesta de desempeño institucional. Bogotá, 2006.
- [8] GAVIRIA ARBOLEDA, Luis Guillermo. Diseño, construcción y prueba de sistema Flex fuel (E85) de alta eficiencia con turbocompresor implementado en un vehículo con motor de aspiración atmosférica. Pereira, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [9] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas técnicas NTC-1930 (edición 1996), NTC-2194 (edición 1997) y NTC-4219 (edición 1997).

# **GUÍA EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DEL CAMBIO DE POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO AL MODIFICAR EL ÁRBOL DE LEVAS BAJO EL PROCEDIMIENTO DE DESTALONADO**

## **1. Introducción**

Al realizar un proceso de destalonado de un árbol de levas, se espera que se produzca un cambio en la potencia neta del motor, por lo que se deben realizar mediciones de potencia antes y después de alterar el árbol de levas. Esto permitirá la comparación de resultados y el análisis de los mismos.

En esta guía se explica paso a paso el procedimiento a realizar para la correcta medición del cambio de potencia de un motor de combustión interna ciclo Otto al modificar el árbol de levas bajo el procedimiento de destalonado.

## **2. Objetivos**

- 2.1. Retirar y caracterizar las dimensiones del árbol de levas original.
- 2.2. Medir la potencia del vehículo en su estado original.
- 2.3. Realizar el procedimiento de destalonado al nuevo árbol de levas.
- 2.4. Instalar el árbol de levas modificado en el vehículo.
- 2.5. Medir la potencia del vehículo operando con el árbol de levas modificado.

## **3. Procedimiento**

- 3.1. Someter el vehículo en su estado original a un riguroso examen técnico y mecánico, que permita verificar el correcto desempeño del mismo durante la fase experimental de este proyecto.
- 3.2. Colocar el motor en punto muerto superior o en  $0^\circ$ .
- 3.3. Retirar la correa de distribución que va acoplada con el árbol de levas.
- 3.4. Desconectar los cables de las bujías.
- 3.5. Desatornillar y quitar la tapa de válvulas.
- 3.6. Con el árbol de levas a plena vista, y mediante la ayuda de un calibrador “Pie de Rey” o un comparador de caratula, se mide la alzada de las válvulas según el avance en grados, el cual está dado por los giros que

da el cigüeñal. Para el giro de este último, se puede ayudar con un transportador o con la escala en grados que traen grabada algunos vehículos.

- 3.7. Luego se procede a localizar las chumaceras del árbol de levas para aflojarlas y retirarlas. Este proceso debe ser seguido según las recomendaciones del fabricante para cada vehículo en particular.
- 3.8. Una vez haya sido retirado el árbol de levas y, al igual que en el paso 3.9., se debe medir la alzada de las levas, la cual es la diferencia entre el círculo base y el círculo máximo.
- 3.9. Estas últimas medidas deben ser comparadas con las del nuevo árbol de levas al cual se le realizara el destalonado, para garantizar la similitud en el proceso.
- 3.10. Mediante el uso del software DYNO2003, ingresar los valores característicos del motor y específicamente del árbol de levas, para luego realizar iteraciones en el cálculo de la potencia estimada mientras se varían las dimensiones de la leva. Esto dará como resultado las nuevas dimensiones que deberá tener la leva a modificar.
- 3.11. La resta entre las dimensiones originales y las nuevas dimensiones estimadas para la leva, dará como resultado el valor adecuado para el desbaste de material en el proceso de destalonado, con lo cual se procede a realizar el montaje del árbol de levas en el torno para comenzar el mecanizado.
- 3.12. Hacer el debido alistamiento y acoplamiento del vehículo al dinamómetro. (Ver manual N°23 Montaje del automóvil al dinamómetro).
- 3.13. Realizar la prueba de potencia y obtener los resultados tal como se explica en el manual N° 15 – “Prueba de potencia en dinamómetro DYNAPACK”.
- 3.14. Retirar el vehículo del dinamómetro, apagarlo y esperar a que disminuya la temperatura del motor.
- 3.15. Cambiar el árbol de levas original por el nuevo árbol de levas ya mecanizado, tomar las medidas de alzada de la leva con sus diferentes dimensiones para compararlas con las resultantes de los cálculos previos.
- 3.16. Instalar el árbol de levas modificado en el vehículo. Para esto, hacer uso de las recomendaciones otorgadas por el fabricante para cada vehículo específico, teniendo en cuenta el orden de los pernos y el apriete que estos deben tener en la colocación de las chumaceras que aseguran el árbol de levas.
- 3.17. Ajustar el árbol
- 3.18. Medir nuevamente la alzada de las válvulas, verificando que no se produzca un choque entre la cabeza del pistón y la válvula. Comparar

estas medidas con las estimadas durante la simulación con los software DYNACAM y DINO2003.

- 3.19. Colocar la tapa de válvulas en su lugar y asegurarla, tal como se muestra en las recomendaciones otorgadas por el fabricante, prestando especial cuidado al orden y el aprieto adecuado de los pernos.
- 3.20. Hacer nuevamente el debido alistamiento y acoplamiento del vehículo al dinamómetro.
- 3.21. Realizar la prueba de potencia y obtener los resultados tal como se explica en el manual N° 15 – “Prueba de potencia en dinamómetro DYNAPACK”.
- 3.22. Finalmente, y luego de la obtención de los resultados de las pruebas de potencia tanto con el árbol de levas original como con el árbol de levas modificado, se realizan los respectivos análisis de resultados y las conclusiones que de estos se puedan inferir.

#### **4. Referencias**

- 4.1. PELLEGRINI, Humberto. Notas de clase: Preparación de motores atmosféricos y sobrealimentados. La Plata, 2006.
- 4.2. VICENTE, Miguel de Castro. Trucaje de motores de 4 tiempos. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1995.
- 4.3. GILLIERI, Stefano. Preparación de motores de serie para competición. Barcelona: Grupo editorial CEAC, 1997.
- 4.4. Manual 15: Prueba de potencia en dinamómetro DynaPack. Laboratorio de pruebas dinámicas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.
- 4.5. Manual N°23: Montaje del automóvil a dinamómetro DynaPack. Laboratorio de pruebas dinámicas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.